LABORATOIRE DE CHIMIE ANALYTIQUE DE L'UNIVERSITÉ
DE GENÈVE
M. LE PROFESSEUR Dr LOUIS DUPARC, DIRECTEUR

LES

LACS ALPINS SUISSES

ÉTUDE CHIMIQUE ET PHYSIQUE

THÈSE

PRÉSENTÉE A L'UNIVERSITÉ DE GENÈVE POUR OBTENIR LE GRADE DE DOCTEUR ÈS-SCIENCES

PAR LE

Dr Félix-Ernest BOURCART

OUVRAGE COURONNÉ PAR LA SOCIÉTÉ HELVÉTIQUE DES SCIENCES NATURELLES (prix Schæfli).

Avec 22 figures dans le texte.

GENÈVE
GEORG & Co, ÉDITEURS
Même maison à Bâle et Lyon

1906

LES LACS ALPINS SUISSES

ÉTUDE CHIMIQUE ET PHYSIQUE

GENÈVE
IMPRIMERIE W. KÜNDIG & FILS

LABORATOIRE DE CHIMIE ANALYTIQUE DE L'UNIVERSITÉ
DE GENÈVE

M. le Professeur Dr Louis Duparc, Directeur

LES

LACS ALPINS SUISSES

ÉTUDE CHIMIQUE ET PHYSIQUE

THÈSE

PRÉSENTÉE A L'UNIVERSITÉ DE GENÈVE POUR OBTENIR LE GRADE DE DOCTEUR ÈS-SCIENCES

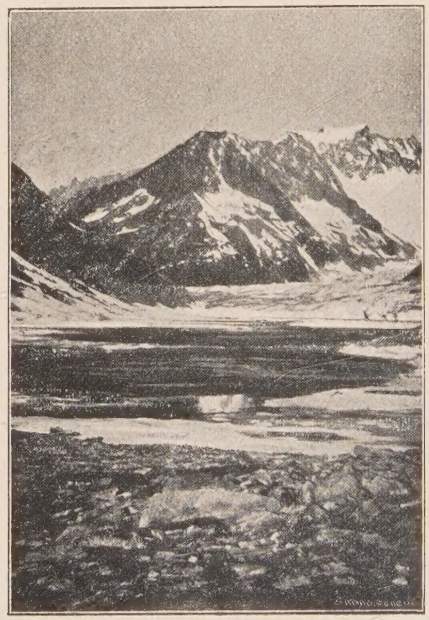
PAR LE

Dr Félix-Ernest BOURCART

Ouvrage couronné par la société Helvétique des sciences naturelles (prix Schæfli).

Avec 22 figures dans le texte.

ACAD.
LUGD.BAT.
BIBL.



GENÈVE
GEORG & Co, ÉDITEURS
Même maison à Bâle et Lyon

1906

La Faculté des Sciences, sur le préavis de M. le Prof. Duparc, autorise l'impression de la thèse présentée par M. Félix Ernest Bourcart, intitulée : Les Lacs alpins suisses (étude chimique et physique), sans exprimer d'opinion sur les propositions qui y sont énoncées.

Genève, le 19 mars 1906.

Le Doyen :
R. CHODAT.

A mes chers parents.

Témoignage de profonde gratitude.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41545902_0052

A Monsieur Louis Duparc

Professeur de minéralogie et de chimie à l'Université de Genève.

Hommage d'estime et de reconnaissance.

LES LACS ALPINS SUISSES

PRÉFACE

Il y a trois ans, mon honoré maître M. le professeur Duparc me proposa de prendre, comme sujet de thèse, l'étude approfondie des lacs alpins suisses, et a bien voulu me diriger dans cette étude.

Une étude approfondie des lacs alpins demandait cependant des appareils tout à fait spéciaux, les recherches devaient être effectuées avec des soins particuliers, et la situation souvent peu accessible de la plupart d'entre eux offrait peu de garantie pour la bonne réussite d'un pareil travail.

Les conseils de M. l'ingénieur Delebecque, qui a fait, avec tant de succès, son ouvrage mémorable sur les lacs français, furent aussi pour moi d'une grande valeur. Il n'hésita pas à mettre à ma disposition tous les appareils qui lui avaient déjà rendu de si grands services, et me fournit en plus les données nécessaires et l'eau des lacs du St-Gothard, Lucendro et Oberalp.

M. Tanner-Füllmann, avec lequel j'ai eu le plaisir d'entrer en communication par les soins de M. le professeur Chodat, m'a procuré l'eau des lacs Seealp, Fälen, Greppelen et Schönenboden.

MM. les professeurs Sarasin et Forel m'ont donné, de même, de précieuses indications.

Qu'il me soit permis de leur exprimer à tous mes plus sincères remerciements et ma profonde reconnaissance.

Pour les recherches chimiques, M. le professeur Duparc a mis, dès le début, à ma disposition le matériel nécessaire, ainsi qu'un stock considé-

rable de platine, qui m'ont permis d'effectuer mes analyses dans des conditions tout à fait exceptionnelles.

Je ne saurais trop lui témoigner ma gratitude pour l'intérêt qu'il a toujours porté au travail que j'ai entrepris sous sa direction.

Une partie de cet ouvrage a été l'objet d'une note présentée par les soins de M. le professeur L. Duparc à la Société de physique et d'histoire naturelle de Genève, le 5 mars 1903 [1]. De même, j'en ai fait une communication au congrès annuel de la Société Helvétique des sciences naturelles à Locarno, le 4 septembre 1903 [2]. Le travail plus complet a été remis fin mai 1905 à la Société Helvétique des sciences naturelles (commission du prix Schæfli) qui, dans sa séance à Lucerne, le jugea favorablement, et le couronna d'un prix partiel. A l'état actuel, cet ouvrage présente l'examen de 33 lacs alpins suisses.

[1] Voir extrait des archives des sciences physiques et naturelles, quatrième période, tome XV — avril 1903.

[2] Voir archives des sciences physiques et naturelles, cent neuvième année, quatrième période, tome XVII — février 1904.

I. BUT DU TRAVAIL

Le but de ce travail est de rechercher les lois spéciales auxquelles sont soumis nos lacs alpins, de démontrer quels rapports existent entre les caractères du bassin d'alimentation et les propriétés physiques et chimiques de chacun d'eux.

II. LES LACS ALPINS

Ces lacs sont situés, comme leur nom l'indique, dans les régions alpines. Leur aspect, qui varie de l'un à l'autre, change avec leur emplacement. Ils se trouvent placés soit dans le cours d'une rivière, soit au fond d'une vallée, soit encore au sommet d'un col. Leurs rives sont tantôt abruptes, rocheuses et tombant à pic, tantôt peu inclinées, formées de pelouses, boisées, ou marécageuses. Les cours d'eau qui les alimentent peuvent être des rivières ou des torrents venant des glaciers et névés. Parfois, ce sont des sources. Nous aurons l'occasion de nous rendre compte de ces diversités dans le cours de ce travail.

En nous basant sur les rapports qui existent entre les caractères du bassin d'alimentation et les propriétés de l'eau de chaque lac, nous arrivons à les grouper de manière à obtenir une classification rationnelle de tous les lacs alpins. Nous la mentionnerons lors de la discussion des résultats. Ce genre de classement nous semble préférable à ceux qui se basent soit sur le genre de formation des lacs, leur forme, leur profondeur ou leur couleur.

III. LES RECHERCHES

Ce n'est que par un travail complet, méthodiquement organisé, que nous pouvions arriver à des résultats précis et satisfaisants.

Les recherches se divisent en deux parties bien distinctes, soit :

1° Recherches sur le lac même.

2° Recherches au laboratoire.

1. **Recherches sur le lac.**

Elles avaient comme but de fixer les caractères généraux de chaque lac, d'en déterminer la couleur, la transparence, la température à la surface et à la profondeur maxima, le genre d'alimentation, et la constitution du sol sous-lacustre. En plus, nous avons mis toute notre attention à prélever l'eau et la vase du fond, lorsqu'il y avait possibilité. La chose n'était pas aisée vu les difficultés que présentaient :

Le choix des appareils,
Le transport des appareils,
La manière de procéder aux recherches sur les lacs et
La conservation des échantillons d'eau et de vase.

a) Choix des appareils.

Le choix des appareils dépend évidemment des conditions à réaliser. Si l'un est bon pour des recherches en mer, il ne pourra pas toujours servir sur la barque chancelante d'un petit lac des Alpes. Il s'agissait de

trouver ce qui convenait le mieux pour la circonstance. On chercha donc à obtenir des appareils facilement transportables, et donnant en même temps pleine garantie pour l'exactitude des expériences. Nous fûmes excessivement heureux, en cette occasion, de pouvoir nous servir du matériel que M. Delebecque a bien voulu mettre à notre disposition.

Voici la liste des appareils utilisés :

1. Treuil avec manivelle.
2. Corde tressée divisée.
3. Tige avec boulets de sonde.
4. Cônes pour prise de la vase.
5. Poudriers.
6. Thermomètre simple.
7. Bouteille de Mill.
8. Bonbonnes.
9. Disque blanc.
10. Gamme de Forel.

Nous tenons à donner ici une courte description de chacun d'eux, de manière à en montrer les avantages et à en expliquer le fonctionnement.

1. *Le treuil.*

Cet appareil se compose d'une roue en tôle, large de 20 cm., d'un diamètre d'environ 50 cm., possédant un rebord de 10 cm., et pouvant contenir de 200 à 300 m. de corde. Cette roue est fixée sur un pied de bois dur, et peut être tournée à l'aide de deux manivelles.

2. *La corde.*

Elle est en chanvre tressé de 7^{mm} de section. Elle est préalablement étirée à la machine et imprégnée de parafine. Avant de la placer sur le treuil, on la gradue à l'aide d'un décamètre, par des signes peints à l'huile, de différentes couleurs. On a soin de tenir compte du rétrécissement qui peut se faire quand la corde se mouille et dont la valeur peut atteindre environ 5 % de la longueur primitive. Cette corde sert à la fois à déterminer les profondeurs, à prendre la vase, à faire descendre la bouteille de Mill et à fixer la transparence. Il est indispensable de la sécher, si possible immédiatement après son usage.

3. *Tige avec boulets de sonde.*

Elle se compose d'une barre d'acier, recourbée en forme d'anneau à l'une des extrémités, et possédant un pas de vis avec deux écrous. Deux boulets de fonte percés au milieu, d'un poids de 2 kilog. chacun, peuvent être enfilés sur la tige et fixés par les écrous.

4. *Cône pour la prise de vase.*

Cet appareil, imaginé par M. Delebecque, fonctionne admirablement. C'est un cône en tôle d'acier, fixé, à l'intérieur, par sa partie pointue à une tige en acier, munie d'un long pas de vis et d'un écrou. Ce dernier est très long et se visse facilement à la tige de sonde. Le cône est recouvert d'une plaque ronde, en cuir très épais. Celle-ci est percée à son centre et munie d'une chape métallique, permettant à la plaque de coulisser le long de la tige du cône. On a ainsi un système de fermeture automatique, qui ouvre le cône quand on le laisse descendre au fond du lac et le referme en remontant. On évite de cette manière que la vase une fois prise, soit lavée ou entraînée par l'eau durant son trajet ascendant.

5. *Poudriers.*

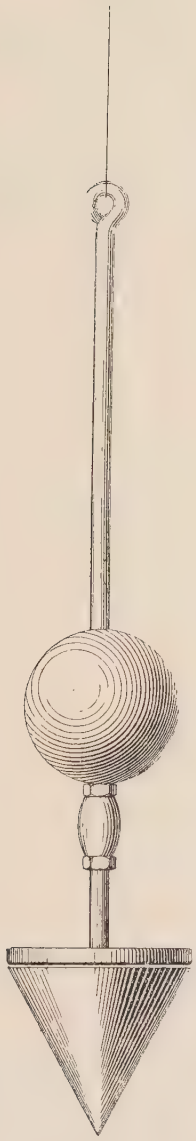
Ce sont des poudriers à bouchon rodé d'une contenance d'environ 100 cc. Ils servent à conserver les vases.

6. *Thermomètre.*

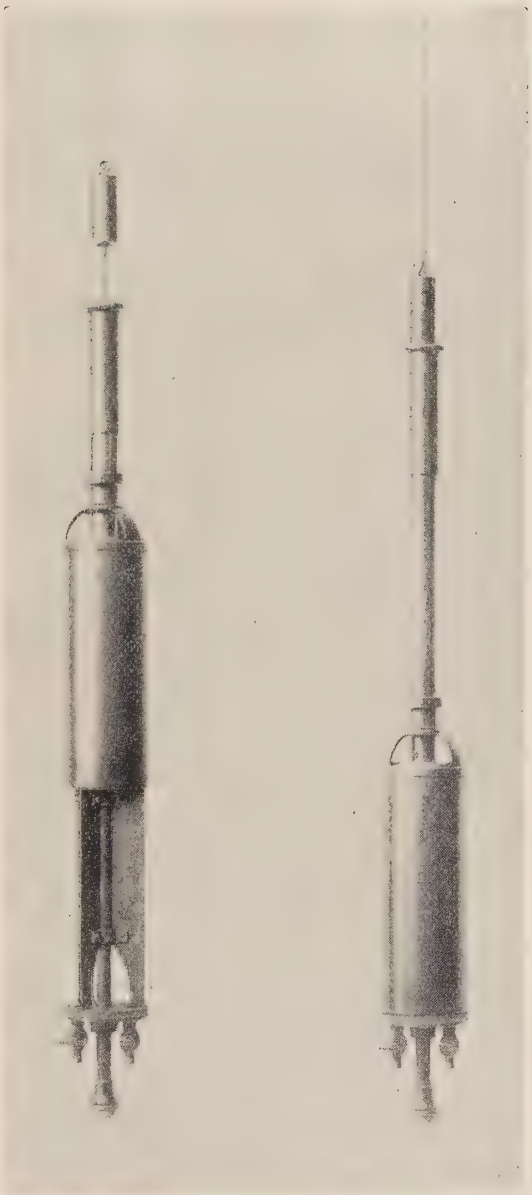
Nous nous sommes servis d'un petit thermomètre portatif, construit par M. Penfold à Genève et contrôlé par un thermomètre de précision.

7. *Bouteille de Mill.*

C'est l'appareil qui sert à prélever l'eau à une profondeur déterminée et à la remonter sans qu'elle se mélange à celle des couches supérieures. Il est facile à concevoir qu'une bouteille ordinaire ne pourrait remplacer celle de Mill. D'abord, il serait difficile de l'ouvrir et de la refermer à différentes profondeurs, ensuite la pression qui existe au fond des lacs ne manquerait pas de la faire éclater, avant qu'elle ait atteint les couches profondes.



Cône servant à prélever les vases du fond.
Cliché extrait du livre
de M. André Delebecque « les lacs
français »
avec l'autorisation de l'auteur.



Bouteille de Mill ouverte et fermée.
Cliché extrait du livre de M. André Delebecque
« les lacs français »
avec l'autorisation de l'auteur.

La bouteille de Mill se compose d'un tuyau d'environ un mètre de long, que traverse la corde et auquel sont solidement fixés deux disques tapissés de caoutchouc du côté supérieur et placés à 50 cm. l'un de l'autre. Un cylindre creux en tôle vient se poser exactement sur eux, formant ainsi, par l'intermédiaire du caoutchouc, une boîte cylindrique complètement étanche. Avant la fermeture de l'appareil, le cylindre est maintenu dans sa position par des ressorts et en est décroché par un curseur qu'on laisse glisser le long de la corde. Le disque inférieur étant percé de deux trous communiquant à deux robinets, on en ouvre un d'abord pour laisser entrer l'air, puis l'autre, par lequel l'eau contenue dans le cylindre s'écoule dans la bonbonne.

8. *Bonbonnes.*

Nous nous sommes toujours servis de *bonbonnes en verre vert*, d'une contenance de cinq à six litres, et protégées par de la paille et de l'osier. Celles-ci ne s'attaquent pas, tandis que le verre blanc se dissout en partie dans l'eau. Pour chaque lac nous utilisions deux de ces bonbonnes, qu'une fois pleines nous bouchions et cachetions soigneusement.

9. *Disque blanc.*

Pour mesurer la transparence, nous employions un disque blanc en tôle, de 20 cm. de diamètre, suspendu par trois ficelles, se réunissant dans un anneau en fer.

10. *Gamme de Forel.*

Cet appareil, imaginé par le professeur Forel de Morges, est excessivement portatif et donne d'excellents résultats. Il sert à la détermination de la couleur de l'eau. Il se compose d'un cadre rectangulaire en bois dur, dans lequel sont fixés onze petits tubes en verre, d'environ 5 cm. de longueur et 7^{mm}. de section, contenant un mélange de sulfate de cuivre ammoniacal et de chromate neutre de potasse. En changeant les proportions du mélange, on arrive à obtenir des colorations variant pour le chiffre I du bleu pur au chiffre XI qui donne une couleur jaunâtre.

b) Transport des appareils.

Bien que choisis et soigneusement emballés, les appareils n'ont pas toujours été faciles à transporter. Dans certains passages alpins, ce n'était qu'avec de grandes difficultés qu'on parvenait à les porter d'un lac à l'autre. Notre manière de procéder était comme suit :

Nous les envoyions d'abord à l'endroit postal le plus proche du lac à examiner. De là, nous faisions transporter les caisses et bonbonnes jusqu'au lac, soit à dos de cheval, soit encore par deux porteurs.

Arrivés au but, nous plaçions le matériel dans la barque et commencions nos recherches. Souvent, il nous était possible de les terminer en trois heures. Le travail fini, nous cachetions les bonbonnes et emballions à nouveau les appareils, qu'on expédiait ensuite au lac suivant.

Cette manière de faire nous a permis d'examiner un grand nombre de lacs en fort peu de temps. C'est un avantage réel, car il est évident que, plus l'intervalle sera petit entre l'examen des différents lacs, plus les résultats obtenus seront comparables.

c) Manière de procéder aux recherches sur les lacs.

Arrivés au lac, nous embarquions et déballions les appareils tout en les mettant en ordre de fonctionnement. Ceci fait, nous nous dirigions vers la partie inférieure du lac et nous arrêtions à peu de distance de l'émissaire. Le treuil avec la corde était placé sur l'arrière de la barque, nous fixions la tige, avec ses boulets de *sonde,* à l'extrémité de la corde et laissions doucement descendre l'appareil. Une légère résistance nous indiquait que la sonde avait touché le fond. Durant cette opération, il est important de tenir le bateau contre le courant de l'eau, contre le vent et de ramer de manière à ce qu'il reste autant que possible à la même place. Si l'on négligeait cette précaution, la barque, par son déplacement, donnerait à la corde une direction oblique, qui déterminerait des lectures de profondeur bien trop élevées. En répétant les coups de sonde dans la longueur et la largeur du lac, on obtient un profil précis de celui-ci. De cette façon le point de la plus grande profondeur ne pourra nous échapper. C'est là que

nous nous arrêtions pour effectuer les différentes recherches, tout en ayant soin de maintenir la barque rigoureusement au même endroit.

Sans enlever les boules, nous vissions à la tige de sonde le *cône pour vase*, nous le laissions vivement tomber au fond et le ramenions ensuite brusquement à la surface. Si le fond du lac n'était pas rocheux, le cône remontait plein de vase, laquelle était mise dans un poudrier avec 5 cc. de formol à 40 %. Nous agitions pour bien mélanger le formol et la vase. Si le fond du lac était rocheux, nous ressentions un choc sec et le cône remontait vide.

Après avoir prélevé la vase, nous détachions l'appareil de sondage et fixions soigneusement à la corde la *bouteille de Mill*, destinée à prélever l'eau à 1-2 m. environ du fond. Nous suspendions le cylindre aux ressorts pratiqués au haut du tuyau et, connaissant la profondeur de l'endroit où nous nous trouvions, nous laissions descendre la bouteille de Mill jusqu'à 1-2 m. du fond. Il est important de faire cette opération avec précaution pour éviter que l'appareil ne se ferme trop tôt. Quand il est en bas, on laisse glisser un ou deux curseurs qui viennent frapper sur les ressorts soutenant le cylindre. Ce dernier tombe et emprisonne momentanément environ deux litres d'eau. Pour être sûr du fonctionnement de la bouteille de Mill, il faut tenir la corde à la main, on est certain que l'opération a réussi quand on a perçu distinctement les deux coups provenant d'une part des curseurs qui frappent sur les ressorts, d'autre part du cylindre qui se ferme. On remonte ensuite la bouteille et verse son contenu dans les deux bonbonnes, que l'on a préalablement rincées avec l'eau du lac.

La température de l'eau à différentes profondeurs peut-être facilement déterminée au moyen d'un *thermomètre* Negretti et Zambra, qui donne des résultats très satisfaisants. Cet appareil étant très fragile, et n'en ayant pas à notre disposition, nous avons pris la température de l'eau immédiatement après l'avoir prélevée. Pour les observations que nous faisions, il nous semblait que cette détermination était tout aussi précise que celle que nous pouvions faire au moyen du Negretti et Zambra. En effet, l'eau emprisonnée dans la bouteille de Mill a certainement la température de la couche d'eau dont elle provient. Vu son volume considérable et la distance relativement courte qu'elle a à parcourir du fond à la surface, sa température ne peut guère varier. On peut donc admettre que la lecture faite sur un thermomètre exact, plongeant dans l'eau lorsqu'elle sort du robinet de la bouteille de Mill, indique sûrement la température que l'eau possédait à la profondeur de la prise.

Quant à la température de la surface, on la prend à la même place et avec le même thermomètre.

Nous détachions ensuite la bouteille de la corde et la remettions dans sa caisse, après quoi nous procédions à la mesure de la transparence. Dans ce but nous fixions, toujours à la même corde, le *disque blanc,* par son anneau. Nous le placions du côté où le bateau jetait son ombre et, en nous penchant au dehors, nous le laissions descendre lentement jusqu'à ce qu'il disparût. La profondeur à laquelle il se trouvait alors marquait la transparence de l'eau.

Pour la couleur nous comparions, toujours à l'ombre, les nuances de l'eau à celles de la *gamme Forel* en notant le tube correspondant. Il est utile de faire contrôler ses résultats pour éviter des erreurs d'appréciation personnelle.

Il nous a semblé bon d'ajouter à ces données les indications suivantes :

La date de la prise, l'altitude à laquelle est situé le lac, le genre de son bassin, le caractère de ses rivages et du sol sous-lacustre, le genre et le nombre des affluents et émissaires, la différence de niveau, etc., etc.

Nous avons négligé en partie les lacs ne possédant pas de bateaux, attendu que le transport d'une barque aurait été lié à de grandes difficultés et dépenses. Nous en citons cependant quelques uns dans cet ouvrage, soit parce qu'ils offraient un intérêt particulier, soit parce qu'ils se trouvaient sur notre passage. Pour ces lacs, il nous a été impossible de déterminer la transparence ainsi que la température de l'eau du fond. Nous nous sommes contentés d'en prélever l'eau à la surface.

d) Conservation des échantillons d'eau et de vase.

Certains lacs alpins n'étant accessibles que pendant un temps très limité à cause des glaces, on est obligé de faire les observations ainsi que les prises d'eau et de vase à l'époque la plus propice pour ce genre de travail. On est donc forcé de conserver l'eau et les vases plus ou moins longtemps après les avoir prélevées, et de prendre des précautions spéciales afin d'éviter leur altération.

La première condition pour la conservation de l'eau est de la tenir dans des bonbonnes de *verre foncé*, hermétiquement bouchées. De nombreuses expériences, effectuées par Monsieur le professeur Duparc, ont

démontré très nettement que l'eau séjournant dans du verre blanc l'attaque fortement, même dans des circonstances tout à fait normales. Il en résulte qu'elle change de composition, et que son analyse nous donnera des quantités bien trop fortes de Na, K et SiO_2.

Le verre foncé n'est attaqué que dans des proportions très minimes. Ainsi l'analyse d'eau distillée, ayant séjourné plus d'une année dans une de nos bonbonnes en verre foncé, n'a donné que *0,3 mgr. de* SiO_2 *par litre.*

En outre, nous avons à considérer les gaz pouvant être dissous dans l'eau des lacs, tels que : l'acide carbonique, l'oxygène, l'hydrogène sulfuré, etc. qui permettent à un grand nombre de substances de s'y maintenir en solution. Il résulterait du dégagement d'un de ces gaz une précipitation plus ou moins complète de certaines matières, qui changerait les résultats de l'analyse. Tous les efforts devront donc tendre à empêcher la fuite des gaz en solution. A cet effet, on tâchera d'éviter les changements de pression et les variations de température. Nous avons conservé nos bonbonnes hermétiquement fermées à une température sensiblement égale à + 10° C. De cette façon, l'eau se trouvait dans des conditions thermiques semblables à celles des lacs.

Une autre cause d'altération sont les microorganismes qui sont en très grande quantité dans l'eau des lacs et qui se nourrissent de substances minérales, végétales ou animales contenues dans celle-ci. Ces substances, après avoir été assimilées par eux, sont fixées ou évacuées sous une autre forme.

Quant aux **vases,** la conservation au formol est parfaite. On évite ainsi la putréfaction des organismes qui en général s'y trouvent en fort grande quantité.

Il nous a été malheureusement impossible de nous occuper particulièrement de ces vases, et d'en faire l'analyse, celle des eaux nous ayant pris un temps trop considérable.

2. **Recherches au laboratoire.**

La récolte des eaux exige, comme nous l'avons vu, beaucoup de précautions, l'analyse est également une opération fort délicate. En effet, si l'on considère la petite quantité de matières dissoutes dans l'eau, on concevra aisément que ces analyses devront être effectuées avec des soins tout à fait particuliers.

L'analyse de l'eau peut être comprise de deux manières différentes. On peut déterminer soit le total des substances dissoutes et en suspension, soit uniquement celles qui se trouvent en solution. On pourrait ainsi obtenir, par la comparaison des deux résultats, la valeur des matières en suspension. Pratiquement, il n'y a que la détermination des substances purement en solution qui peut donner des résultats exacts. En effet, il est impossible d'éviter certains tourbillons produits par la descente de l'appareil lors de la prise d'eau. Ces remous peuvent soulever une partie de la vase, qui se mêlerait à l'eau prélevée et en fausserait l'analyse. Il serait donc inutile de chercher à déterminer dans cette eau la valeur des matières en suspension.

Les analyses et les chiffres mentionnés plus loin se rapporteront tous à de l'eau soigneusement filtrée et absolument débarrassée de toute matière en suspension.

Bien que très simple en général, la filtration présente ici ses difficultés. Si l'on veut avoir des résultats précis, on aura soin de remettre les premières parties du filtrat sur le filtre, et on préservera l'eau de l'air du laboratoire, pendant cette opération. Dans ce but, nous exécutions toujours ces filtrations dans une cour ou au grand air. De cette manière nous éliminions surtout l'action de l'acide chlorhydrique qui peut se trouver dans l'air du laboratoire, et qui pouvait changer la valeur du résidu sec et celle du chlore.

Les mêmes précautions sont prises pour l'eau servant à la détermination des matières organiques. On nous objectera que la cellulose est légèrement soluble dans l'eau. Nous avons cherché à éliminer cette cause d'erreur en utilisant, pour la filtration, de l'amiante laineuse fortement cal-

cinée au lieu de papier. Cette méthode ne nous a pas donné de bons résultats. La quantité de papier dissoute par l'eau pendant la filtration est du reste si minime qu'il n'y a pas lieu d'en tenir compte.

L'eau ainsi obtenue parfaitement limpide est récoltée dans des ballons jaugés, conservée au frais et soumise aussi vite que possible à l'analyse.

Celle-ci doit présenter suffisamment de déterminations pour permettre d'obtenir, par la comparaison des différents résultats, un contrôle des chiffres et avoir ainsi une garantie pour la valeur des recherches. Dans ce but, nous avons combiné les analyses de manière à avoir rapidement des résultats précis, tout en employant le minimum de cette eau fort précieuse, qui nous revenait à plus de 5 francs le litre. Nous basant sur les méthodes usuelles employées pour l'analyse des eaux, et sur les excellents conseils de mon honoré maître M. le professeur Duparc, nous sommes arrivé à combiner les différentes opérations d'une manière fort satisfaisante.

En voici le résumé :

Tableau indiquant les dosages ayant été effectués sur les différentes prises.

1 l.	1 l.	1 l.	1 l.	500 cc.	500 cc.	100 cc.	100 cc.	4 l.
Résidu sec.	Résidu sec.	Cl	Cl	MnO	MnO	Mat. org.	Mat. org.	SiO_2
SiO_2	SiO_2	$Fe_2O_3 + Al_2O_3$	$Fe_2O_3 + Al_2O_3$					$Fe_2O_3 + Al_2O_3$
$Fe_2O_3 + Al_2O_3$	$Fe_2O_3 + Al_2O_3$	CaO	SO_3					SO_3
CaO	CaO	MgO						K_2O
MgO	MgO							Na_2O

L'hydrogène sulfuré n'a été déterminé que sur les eaux des lacs Ritom et Cadagno. Ce n'est qu'exceptionnellement que nous avons été obligé d'augmenter ou de diminuer la quantité d'eau utilisée, lorsqu'elle était trop pauvre ou trop riche en matières dissoutes. En général, nous avons donc employé 1000 + 1000 + 1000 + 1000 + 500 + 500 + 100 + 100 + 4000 = 9200 cc. d'eau. Ne possédant que 10 à 12 litres par lac, il ne nous restait que peu d'eau en cas d'accident. Malgré cela, nous avons réussi à terminer toutes les analyses.

Nous nous sommes éloigné quelque peu des méthodes officielles employées pour ce genre d'analyse. Nous avons laissé de côté la détermination des substances qui ne sont contenues que rarement ou en quantités

médiocres dans l'eau de nos lacs. Nous avons aussi négligé toute analyse ne présentant qu'un petit intérêt, ou nécessitant un travail trop considérable. De cette façon nous avons gagné le temps nécessaire pour étendre nos recherches sur un plus grand nombre de lacs. Les résultats ont toujours été satisfaisants et les variations des valeurs obtenues ne dépassaient que rarement, pour la même substance et la même eau, 2 à 4 dixièmes de milligr. Nous attribuons cette précision au fait que les analyses ont été effectuées presque entièrement dans le platine. Le stock de platine que M. le professeur Duparc a mis obligeamment à notre disposition était composé de : deux grandes capsules d'une contenance de 500 cc. et pesant chacune 190 grammes, de deux petites capsules de 48 gr., de deux autres de 15 gr., de deux creusets à calciner de 15 grammes et deux de 12 gr. chaque. Le poids complet du platine était donc d'environ 560 grammes.

Nous attribuons aussi la précision du travail aux précautions minutieuses prises pour l'évaporation et la concentration des eaux et liqueurs. Trois chapelles nous servaient journellement dans nos recherches. En plus, nous faisions les pesées sur une balance spéciale d'une extrême sensibilité et pesant rapidement. Ce dernier caractère est indispensable, surtout si l'on veut peser avec succès les résidus secs généralement très hygroscopiques.

Pour les autres instruments de mesure, tels que ballons jaugés, burettes, pipettes, etc., nous ne nous sommes servi que de modèles vérifiés. Les réactifs employés étaient toujours contrôlés et de première qualité.

Mon but, dès maintenant, est de décrire les différentes méthodes employées pour les analyses.

a) Le résidu sec.

Sous ce terme, on comprend toutes les matières qui restent comme résidu, lorsqu'une certaine quantité d'eau est évaporée. Le résidu sec varie énormément dans sa composition et son poids. Par ce fait, il caractérise l'eau. On peut donc conclure directement de la composition de l'un celle de l'autre. C'est là-dessus que se base l'analyse des eaux.

On aura pourtant à tenir compte des transformations physiques et chimiques qui se produisent, lorsque certaines substances sont précipitées de leur solution et chauffées à une température déterminée. Ainsi, les

bicarbonates dissous dans l'eau, peuvent donner des carbonates et même des oxydes. D'autres substances, le sulfate de chaux par exemple, retiennent une quantité variable d'eau, suivant la température. Pour obtenir des résultats comparables, nous sommes donc obligés de traiter le résidu, de manière que les différents corps qui le composent s'y trouvent à un état déterminé. Dans ce but nous portions le résidu à **170°**. A cette température, toutes les substances à considérer perdent leur eau de cristallisation et d'interposition, mais aucun carbonate n'est encore transformé en oxyde. Le temps nécessaire à cette opération varie suivant l'importance et la composition du résidu. On est donc obligé, dans chaque cas, de le maintenir à cette température jusqu'à poids constant. Des expériences faites nous ont prouvé que ce dernier peut être obtenu après 5 heures pour les eaux contenant surtout des carbonates, et 11 heures pour celles qui sont riches en sulfates.

Voici quelques exemples :

LAC TANEY.			LAC LÉMAN.			LAC RITOM.		
temps à l'étuve.	poids en milligrammes.		temps à l'étuve.	poids en milligrammes.		temps à l'étuve.	poids en milligrammes.	
5 h.	capsule plus résidu	47,9882	5 h.	capsule plus résidu	48,0378	11 h.	capsule plus résidu	50,6080
4 h.		47,9882	4 h.		48,0378	10 h.		50,6080
3 h.		47,9884	3 h.		48,0380	8 h.		50,6100
2 h.		47,9886	2 h.		48,0398	6 h.		50,6600
	capsule vide	47,8660	1 h.		48,0400		capsule vide	48,2427
				capsule vide	47,8798			
	résidu	0,1222		résidu	0,1580		résidu	2,3653

Pour effectuer la détermination du résidu sec de chaque lac, dans les conditions que nous venons de mentionner, nous opérions de la manière suivante : Un litre de l'eau à examiner était soigneusement filtré, puis évaporé sur le bain-marie dans une capsule de platine d'une contenance de 200 cc. Ceci fait, la capsule était introduite dans une étuve maintenue exactement à 170°. Au bout de 4 heures nous sortions la capsule de l'étuve, et, après l'avoir laissée refroidir dans un exsiccateur, nous la pesions. Après cette opération nous la chauffions une seconde fois à 170°, la pesions de nouveau après une heure, et ainsi de suite jusqu'à poids constant.

La détermination du résidu a toujours été effectuée à double, et la

différence entre les deux résultats ne dépassait que rarement 4 à 6 dixièmes de millig.

b) La silice.

Elle se trouve dans l'eau soit à l'état de silice pure, soit à l'état de silicates, de constitutions fort différentes. Nous pouvons, sans grande erreur, les mentionner comme SiO_2.

La détermination de la silice se fait comme suit : On dissout le résidu sec, obtenu par la méthode précédente, en faisant couler le long des parois de la capsule une solution *très* étendue d'acide chlorhydrique[1]. Ceci fait, on ajoute encore quelques centimètres cubes d'acide chlorhydrique plus fort, et évapore le tout à sec sur le bain-marie. On redissout ensuite le résidu dans de l'eau et de l'acide chlorhydrique concentré, évapore de nouveau à sec, et répète cette opération trois ou quatre fois, suivant l'importance du résidu. Le tout est repris une dernière fois par de l'acide chlorhydrique étendu, et la liqueur obtenue est filtrée à chaud. On a soin de laver avec de *l'eau bouillante acidulée* de quelques gouttes d'une solution d'HCl. Cette précaution est indispensable, attendu que la silice obtenue est souvent mélangée à du sulfate de chaux, qui est infiniment plus soluble dans l'eau acidulée que dans l'eau pure. On obtient ainsi, après avoir lavé à différentes reprises, *la silice ainsi que les silicates insolubles dans l'acide chlorhydrique,* à l'état de pureté parfaite. Le filtre est séché et calciné dans un creuset en platine. On pèse et exprime le résultat comme SiO_2.

c) Le Fer et l'alumine.

Ces deux substances ne se trouvent qu'en très petite quantité dans l'eau des lacs, même dans ceux dont le bassin d'alimentation est riche en fer et en alumine. Leur détermination est donc souvent fort difficile. La méthode suivante nous a donné les meilleurs résultats.

La liqueur résultant de la filtration de la silice est exactement neutralisée avec de l'ammoniaque, On la chauffe au bain-marie à l'ébullition, ajoute quelques gouttes d'ammoniaque en excès, et maintient à l'ébullition

[1] En opérant de cette manière, l'effervescence provenant de la décomposition des carbonates est si minime qu'elle n'entraîne aucune erreur appréciable.

jusqu'à ce que le précipité d'hydrates de fer et d'alumine se soit entièrement formé. On filtre à chaud, et lave avec de l'eau bouillante très faiblement ammoniacale.

Pour séparer ce précipité des substances peu solubles, telles que le sulfate de chaux, qui aurait facilement pu précipiter dans la solution ammoniacale, on redissout le précipité sur le filtre par de l'acide chlorhydrique très dilué et chaud, lave et reprécipite dans le filtrat le fer et l'alumine. Après avoir opéré deux fois de la même façon, ces deux substances sont à l'état de pureté parfaite. On sèche, calcine et pèse et obtient ainsi le $Fe_2O_3+Al_2O_3$.

Il est à remarquer que, si le manganèse est en grande quantité, il est bon d'augmenter la valeur du NH_4Cl, formé par la neutralisation de l'acide chlorhydrique par l'ammoniaque, en y ajoutant un excès de cette substance. Dans certains cas, il est utile de connaître la proportion du fer et celle de l'alumine. Les quantités de ces substances étant très minimes, les méthodes habituelles ne sont pas applicables. Nous en avons imaginé une qui pouvait convenir à ce genre de détermination. Ne l'ayant que rarement employée, nous nous bornerons à en donner le principe : le précipité des hydrates de fer et d'alumine est dissous dans l'acide azotique dilué à chaud. La liqueur obtenue est traitée par l'acide sulfurique, le nitrate de potasse, et évaporée à sec. On reprend ensuite le résidu par de l'alcool, ajoute du sulfocyanure d'ammonium, évapore et dissout le sulfocyanure de fer parfaitement anhydre dans l'éther. La coloration de la solution éthérée ainsi obtenue est très intense, même pour des traces de fer et peut être comparée colorimétriquement à des solutions types. Connaissant la valeur du fer, on obtient par différence celle de l'alumine.

Quant aux liqueurs provenant des filtrations successives des précipités de fer et d'alumine, elles sont réunies et concentrées dans une capsule de platine jusqu'à un volume de 200 cc. environ. Cette concentration doit se faire (surtout dans le cas où l'eau contient beaucoup de sulfate de chaux) après avoir légèrement acidulé la solution par quelques gouttes d'acide chlorhydrique. De cette manière on évite la précipitation du sulfate de chaux.

Dans cette liqueur on pourra déterminer, soit l'acide sulfurique et les alcalis, soit la chaux et la magnésie, d'après les méthodes qui suivent.

Pour les eaux de la plupart des lacs alpins, la détermination du fer et de l'alumine, vu leur petite quantité, ne peut s'effectuer que sur un volume de 4 litres au moins.

d) L'acide sulfurique.

Cette détermination se base sur la précipitation de l'acide sulfurique comme $BaSO_4$. Il est difficile, cependant, d'obtenir ce précipité à l'état de pureté parfaite. Ainsi, le $BaSO_4$ précipité en présence d'acide azotique renferme du $Ba(NO_3)_2$ qui, malgré des lavages très complets, y adhère avec beaucoup de ténacité. Les mêmes difficultés naissent par l'entraînement du $BaCl_2$, de la chaux, du fer et de l'alumine ainsi que de la potasse[1]. Nous avons cherché à éliminer ces causes d'erreurs dans nos analyses. Dans ce but la liqueur obtenue par la concentration des liquides filtrés du fer et de l'alumine est chauffée au bain-marie. On la rend ammoniacale et y précipite *immédiatement* la chaux et la magnésie par un excès de carbonate d'ammonium. Au bout de quelques heures, on filtre et lave avec de l'eau froide ammoniacale. La liqueur filtrée ne contient plus que des sels de K, Na et NH_3 en partie liés à l'acide sulfurique qui provient des sulfates contenus dans l'eau. Cette solution est acidulée avec beaucoup de précautions par l'acide chlorhydrique et chauffée à l'ébullition. On introduit alors au moyen d'une pipette, tout en agitant vivement, une solution à 10% de $BaCl_2$. On maintient le tout au bain-marie et attend que le précipité de sulfate de barium se soit entièrement tassé. Après un *repos de plusieurs heures,* on porte de nouveau la liqueur à ébullition, puis filtre et lave à l'eau bouillante. Le $BaSO_4$ ainsi obtenu est traité de la manière habituelle et calculé en SO_3.

Cette méthode, bien que théoriquement parfaite, offre dans notre cas des difficultés pratiques qui rendent son exécution difficile et longue. Celles-ci proviennent d'abord de l'insolubilité presque complète du $CaSO_4$ en solution fortement ammoniacale. Il est donc possible qu'une partie du $CaSO_4$ précipite avec les carbonates de chaux et de magnésie. Outre cela, la neutralisation de l'excès du $(NH_4)_2CO^3$ par l'acide chlorhydrique est accompagnée d'une forte effervescence, cause de pertes. Des essais comparatifs faits sur différentes eaux ont montré qu'il est avantageux d'effectuer la détermination de l'acide sulfurique d'après la méthode suivante :

Le filtrat concentré des hydrates de fer et d'alumine est acidulé par l'acide chlorhydrique. On précipite à l'ébullition par le $BaCl_2$, maintient au

[1] Voir Docteur F. P. Treadwell, *Quantitative analyse,* p. 322.

bain-marie jusqu'à ce que le précipité se soit tassé, *laisse reposer quelques heures* et filtre, après avoir porté une seconde fois à l'ébullition. Les résultats ainsi obtenus concordent entre eux et avec ceux trouvés par la première méthode. Ce genre de dosage de l'acide sulfuriqne est en même temps rapide, facile et exact.

Cette seconde manière de procéder est donc bien préférable à la première.

e) Les alcalis K et Na.

Ils ne sont qu'en très petites quantités dans l'eau des lacs. Leur dosage est délicat et demande un matériel de platine très complet. La liqueur obtenue par la filtration du $BaSO_4$ des 4 litres est traitée à chaud par un excès de carbonate d'ammoniaque, après l'avoir rendue fortement ammoniacale. Le Ba précipite ainsi comme carbonate. Après un repos *d'au moins 48 heures,* on filtre, lave avec une *très forte solution* de NH_3 et concentre le filtrat dans une grande capsule de platine. Quand tout le liquide est évaporé, on chasse avec précaution les sels ammoniacaux, reprend par *l'eau fortement ammoniacale* et ajoute quelques gouttes d'$(NH_4)_2CO_3$ qui précipite les dernières traces de Ca, Mg et Ba contenues dans la liqueur. Après un *repos d'au moins 24 heures,* on filtre, lave *par l'ammoniaque* et concentre le filtrat au bain-marie dans une petite capsule de platine, dont on vient de déterminer le poids exact et évapore à sec ; puis on calcine et lorsque la calcination est terminée, on transforme les carbonates alcalins en chlorures, en ajoutant de l'acide chlorhydrique. Après évaporation et calcination au rouge sombre nous obtenons par la pesée, KCl + NaCl. Les chlorures doivent être cristallins, il est bon de vérifier qu'ils se dissolvent sans résidu dans l'eau avant l'adjonction du $PtCl_4$.

La valeur du KCl est trouvée par la méthode au chlorure de platine et le NaCl par différence.

f) La chaux.

C'est la matière qui se trouve en plus grande quantité dans l'eau comme bicarbonate, carbonate ou sulfate. Le dosage en est très exact et facile. Nous avons utilisé la méthode suivante comme étant la plus précise. Le filtrat

des hydrates de fer et d'alumine obtenu sur un litre d'eau est chauffé au bain-marie à l'ébullition. On la rend fortement ammoniacale, puis on y ajoute *immédiatement* goutte par goutte, tout en agitant, un excès d'une solution d'oxalate d'ammoniaque. On continue à chauffer pendant une demi-heure et laisse reposer le tout pendant environ 1 journée. On filtre et lave avec de l'eau froide ammoniacale, sèche, calcine à poids constant dans un petit creuset de platine au chalumeau, et pèse comme CaO.

g) La magnésie.

Elle se trouve en général en quantité bien moindre que la chaux. Il en résulte que dans certaines eaux, très pauvres en matières dissoutes, cette détermination offrira quelques difficultés.

Le filtrat de l'oxalate de chaux, qui ne doit pas être d'un volume supérieur à 100-200 cc., est rendu *très fortement ammoniacal*. On y ajoute à froid environ 10 cc. d'une solution concentrée de phosphate d'ammoniaque, agite pendant quelques minutes et laisse reposer le tout pendant *au moins 24 heures*. On filtre, lave à plusieurs reprises avec de l'eau fortement ammoniacale, sèche et calcine. On pèse comme $Mg_2P_2O_7$ et calcule en MgO.

h) Le chlore.

Celui-ci se trouve dans l'eau à l'état de chlorures. Généralement il n'est qu'en très petite quantité, à peine suffisante pour saturer les alcalis. La détermination la plus pratique du chlore se fait en le précipitant comme AgCl.

Un litre de l'eau est évaporé au bain-marie, jusqu'à un volume d'environ 200 cc. La solution, à laquelle on avait préalablement ajouté de l'acide nitrique, est additionnée goutte par goutte de nitrate d'argent. Dès que le précipité s'est rassemblé, on filtre, lave avec de l'eau froide, et traite le AgCl obtenu, comme d'habitude.

Le filtrat, après avoir été débarrassé de l'excès du $AgNO_3$, peut servir soit à la détermination du fer, de l'alumine et de l'acide sulfurique, soit encore à celle de la chaux et de la magnésie.

i) Le manganèse.

Celui-ci ne se trouve que rarement en quantités appréciables dans l'eau. Vu son peu d'importance, nous avons été obligé d'imaginer une méthode particulière pour sa détermination. Nous nous sommes basé sur celle décrite dans A. Ledebur, (Leitfaden, pag. 82 à 83), servant à la détermination du manganèse dans les aciers.

500 cc. de l'eau sont évaporés dans une capsule de porcelaine avec quelques centimètres cubes d'eau régale jusqu'à sec. Après avoir repris par de l'acide nitrique et évaporé à sec pour éliminer tout le chlore, on reprend *encore* par *peu d'eau* et 10 cc. d'acide nitrique concentré. Le tout est rincé dans un petit verre à précipiter. On a donc dans celui-ci la solution de manganèse mélangée à d'autres corps, mais *libre de toutes substances oxydables* qui pourraient entraver la réaction. La liqueur est chauffée sur une flamme nue jusqu'à ébullition et additionnée d'une pincée de PbO_2. On maintient encore pendant trois minutes à l'ébullition. Le liquide ainsi obtenu contient de l'acide permanganique, formé par l'oxydation des sels de manganèse. Quand ce liquide est clair, on compare sa coloration à celle d'une solution de permanganate de titre connu. L'exactitude de l'observation dépasse 1 centième de milligr.

k) Matières organiques (oxydabilité).

Sous cette désignation, nous comprenons les matières organiques oxydables par le permanganate de potasse. Parmi les différentes méthodes utilisées pour ce genre de recherches, nous avons adopté celle de M. M.-C. Marignac, de Genève. Elle lui avait donné d'excellents résultats, lors de son travail classique sur les eaux du Rhône. Nous avons maintenu en principe sa méthode, tout en la modifiant de manière à la rendre pratique pour notre usage. Comme oxydant, nous employions une solution de permanganate excessivement diluée, et contenant environ 0,0003 gr. de $KMnO_4$ par centimètre cube. Nous effectuions l'oxydation dans deux ballons d'une capacité d'environ 200 cc., préalablement lavés au bichromate et dans les-

quels on avait fait bouillir pendant plusieurs heures une solution de $KMnO_4 + H_2SO_4$, afin de les débarrasser de toutes matières oxydables. Quant au titre de notre solution de permanganate, nous le déterminions, chaque fois que nous nous en servions, par le sulfate ferreux. La solution d'acide oxalique utilisée dans la titration possédait un titre légèrement supérieur à celui du permanganate. Nous procédions comme suit pour la détermination des matières organiques.

100 cc. de l'eau étaient introduits dans chaque ballon. Après y avoir ajouté 2 cc. cubes d'acide sulfurique concentré et 10,0 cc. exactement de la solution titrée de permanganate, on mettait les ballons avec leur contenu dans le bain-marie bouillant. Au bout de 30 minutes précises on les sortait, y ajoutait 10,0 cc. exactement de la solution titrée d'acide oxalique, et les plaçait encore trois minutes dans le bain-marie. Ceci fait, on titrait par le permanganate jusqu'au rose pâle. La quantité totale de permanganate utilisée, et diminuée de l'équivalent des 10 cc. d'acide oxalique, donnait directement la valeur du permanganate employé pour l'oxydation des matières organiques. Le poids de $KMnO_4$, contenu dans ce volume de la solution oxydante, multiplié par 10, exprimait l'oxydabilité de l'eau.

Cette méthode, telle que nous l'avons décrite, va fort bien pour les eaux non sulfureuses. Si l'eau contient cependant de l'H_2S, elle ne donne pas de résultats admissibles. Dans ce cas, on est obligé d'éliminer préalablement l'H_2S en le précipitant par un excès de $CdCO_3$, que l'on introduit après avoir acidulé l'eau avec de l'acide sulfurique. Quand tout le $CdCO_3$ est dissous, la solution étant encore acide, on laisse se déposer le CdS formé et filtre. La liqueur filtrée est directement utilisée pour la détermination des matières organiques d'après la méthode mentionnée plus haut.

Voici à peu près toutes les méthodes qui nous servaient à l'analyse de l'eau de la plupart des lacs. Nous devons cependant signaler quelques difficultés que nous avons eu à surmonter en effectuant l'analyse des eaux anormalement chargées de matières dissoutes.

l) Analyses des eaux fortement chargées de sulfates.

C'est surtout le $CaSO_4$ qui, par son insolubilité presque complète, entrave l'analyse.

1. *Résidu sec.*

Cette détermination, ainsi que celles du SiO_2, Ca, Mg et SO_3, ne s'effectuent dans ce cas que sur 100 cc.

2. *Silice.*

Le résidu sec, après avoir été traité 5 fois par HCl pour insolubiliser les silicates et la silice, est digéré au bain-marie dans une solution d'acide chlorhydrique à 10 %. Après une heure on filtre, traite à nouveau au bain-marie par l'acide chlorhydrique, et ainsi de suite jusqu'à ce que tout le $CaSO_4$ soit entré en solution. On verse ensuite le contenu de la capsule dans le filtre, lave à l'eau bouillante légèrement acidulée de HCl et obtient ainsi SiO_2.

Si de cette manière on n'est pas arrivé à éliminer entièrement le $CaSO_4$, on fond le résidu de la calcination avec du K_2CO_3. La silice est ainsi transformée en silicate soluble de potassium. On dissout le tout et traite par l'acide chlorhydrique en évaporant plusieurs fois à sec et l'on obtient alors le SiO_2 à l'état de pureté parfaite.

3. *Fer et alumine.*

Vu la petite quantité de ces corps, il est nécessaire d'opérer sur 1 litre au moins, ou sur les 4 litres servant à la détermination des alcalis.

L'eau est évaporée dans une grande capsule en platine jusqu'à un volume d'environ 100 cc. La liqueur ainsi obtenue est acidulée légèrement par l'acide chlorhydrique, de manière à décomposer les carbonates et dissoudre tout le fer et l'alumine qui aurait pu précipiter durant la concentration. On filtre, lave, ajoute au filtrat un excès d'ammoniaque, et chauffe pendant quelque temps au bain-marie. La plus grande partie du $CaSO_4$ restée encore en solution précipite. On décante, filtre une seconde fois et lave avec de l'eau légèrement acidulée de HCl, pour dissoudre le précipité des hydrates de fer et d'alumine qui aurait pu se former. Le filtrat, ne contenant que peu de sulfate de chaux, pourra, sans inconvénient, servir directement à la détermination du fer et de l'alumine, d'après la méthode mentionnée plus haut.

4. *Alcalis.*

Pour leur détermination on utilise 4 litres d'eau. La liqueur filtrée provenant de la précipitation du fer et de l'alumine est directement utilisée pour le dosage des alcalis, suivant la méthode habituelle.

5. *Chlore.*

Pour son dosage, l'eau est traitée exactement de la même manière que pour celui du fer et de l'alumine, avec la seule différence que l'acide chlorhydrique est partout remplacé par l'acide nitrique. La liqueur filtrée, débarrassée de l'excès de chaux, est utilisée telle quelle.

6. *Ca et Mg.*

L'eau est directement traitée à chaud, sans la concentrer, par l'ammoniaque + oxalate d'ammonium. L'oxalate de chaux ainsi obtenu est transformé en CaO, duquel on soustrait la valeur des oxydes de fer et d'alumine qui ont précipité en même temps. Dans le filtrat on détermine comme toujours le MgO. La précipitation de la chaux doit se faire deux fois pour éviter l'entraînement de MgO.

7. *Acide sulfurique.*

Il est déterminé sur 100 cc. d'eau, après en avoir éliminé le fer, l'alumine, la chaux et la magnésie ou mieux encore directement.

m) L'hydrogène sulfuré.

Quelques eaux, et notamment celles contenant beaucoup de sulfates, présentent parfois la particularité de tenir en solution une plus ou moins grande quantité d'H^2S. Cette proportion est surtout forte dans l'eau des

lacs Ritom et Cadagno. Comme l'hydrogène sulfuré est un gaz relativement peu stable, se décomposant rapidement, soit sous l'influence de certains organismes, soit encore par l'action de l'oxygène de l'air, il est absolument nécessaire de le fixer immédiatement après avoir prélevé l'eau.

Nous avons employé une méthode qui nous paraissait précise, tout en étant facile à exécuter. Elle présentait en plus l'avantage de permettre le dosage au lac même, sans être obligé d'y transporter des appareils compliqués et fragiles. Vérifiée par des analyses très exactes, faites au laboratoire de différentes manières, cette méthode a donné de fort bons résultats.

Elle se base sur le principe qu'en solution sulfurique l'H_2S est précipité quantitativement par les sels du cadmium[1]. Il se forme en effet un précipité de CdS, entièrement insoluble, et facile à filtrer. Nous préparions une solution à peu près concentrée de $CdSO_4$. 200 cc. de cette solution sont acidulés par 20 cc. d'acide sulfurique concentré.

L'eau prélevée au moyen de la bouteille de Mill est immédiatement introduite dans un ballon jaugé de 200 cc. On transvase ce volume d'eau connu dans une bouteille de 300 cc. environ et ajoute 50 cc. de la solution acide de $CdSO_4$. Quand tout dégagement de CO_2, provenant de la décomposition des carbonates et bicarbonates, a cessé, on bouche hermétiquement et agite le flacon. Il se forme de suite un précipité jaune de CdS. On a donc fixé à l'état de sulfure insoluble la totalité *d'hydrogène sulfuré libre,* et l'on peut alors, sans crainte, transporter l'eau ainsi traitée, pour terminer l'analyse au laboratoire. C'est là qu'on filtre la liqueur contenant le CdS. Ce dernier est dissous sur le filtre par de l'acide chlorhydrique (1 : 1) à chaud. La solution est additionnée de quelques cc. d'acide sulfurique et évaporée à sec dans une capsule pesée. Le poids du $CdSO_4$ est calculé en H_2S.

n) L'acide carbonique.

Nous avons négligé sa détermination, bien qu'elle semblât être d'une grande importance, vu les difficultés pratiques qu'elle offrait. Nous nous sommes contenté de calculer l'acide carbonique par différence.

[1] Voir Treadwell, *Lehrbuch der analytischen Chemie,* II, p. 130.

o) Autres matières que l'on pourrait déterminer.

Dans les eaux naturelles se trouvent encore une foule de substances, que nous n'avons ni mentionnées ni dosées. Elles n'ont pas l'importance de celles que nous avons examinées de plus près, et nous avons cru bien faire en laissant de côté ces déterminations secondaires, pour consacrer plus de temps aux analyses de première importance. De plus, les réactions et altérations qui peuvent se produire sous l'action de ferments, algues, bactéries ou petits animaux, donne lieu a des variations très considérables, capables de changer les proportions de ces matières. Celles-ci sont surtout représentées par l'ammoniaque, les acides nitrique, nitreux et carbonique, l'oxygène, l'azote. Pour les eaux fortement sulfureuses, nous pouvons avoir transformation de l'hydrogène sulfuré et des sulfures en sulfates et même précipitation de soufre. Il serait donc inutile de faire une détermination exacte de ces corps, à moins de la faire immédiatement après avoir prélevé l'eau. Il y aurait possibilité d'empêcher l'action des organismes en les détruisant par un désinfectant quelconque, comme nous l'avons fait pour les vases. Ce procédé offrirait, cependant, pour l'eau et son analyse, de grands inconvénients. L'étude et la comparaison des différents résultats obtenus par nos recherches nous ont prouvé qu'ils suffisaient entièrement pour caractériser chaque lac, et nous fournir toutes les données nécessaires à l'étude approfondie de ce sujet si intéressant.

IV. INTERPRÉTATIONS DES RÉSULTATS OBTENUS PAR L'ANALYSE

Les résultats, tels qu'ils sont obtenus directement par l'analyse, sont en partie sous une forme peu commode et souvent trop compliquée. On a donc toujours cherché à les exprimer d'une manière conventionnelle, permettant de mieux comparer entre elles les données des différentes recherches. Ainsi la magnésie, qui a été déterminée comme $Mg_2P_2O_7$ est exprimée en MgO, le manganèse dosé à l'état de permanganate comme MnO, les alcalis K et Na, qui sont pesés comme chlorures, sont exprimés en oxydes, le chlore dosé comme Ag Cl et calculé en Cl, et le $BaSO_4$ en SO_3. Il n'y a que le résidu sec, les oxydes de fer, d'alumine et de calcium qui soient exprimés à l'état auquel l'analyse nous les fournit directement. Par ce fait, les valeurs que nous indiquerons pour chaque lac se rapportent :

Au résidu sec
A la silice et aux silicates insolubles dans HCl comme SiO_2
A l'oxyde de fer Fe_2O_3 et d'alumine Al_2O_3
» » » calcium comme CaO
» » » magnésium » MgO
» » » manganèse » MnO
» » » potassium » K_2O
» » » sodium » Na_2O
A l'acide sulfurique » SO_3
Au chlore » Cl.

Quant aux matières organiques, il est fort difficile d'en donner la valeur réelle, la méthode employée pour leur détermination n'indiquant pas avec certitude leur totalité. Il nous a semblé rationnel de les exprimer comme oxydabilité de l'eau, chiffre indiquant le poids de $KMnO_4$ utilisé pour leur oxydation.

Cette manière purement conventionnelle d'interpréter les résultats des analyses est cependant bien loin de nous donner la composition réelle des substances dissoutes dans l'eau. En effet, nous ne pouvons admettre dans cette dernière l'existence de corps tels que le CaO, MgO, K_2O, Na_2O, etc. En quelle proportion et à quel état se trouvent-ils donc ? L'analyse ne nous donnant pas d'indications suffisantes, et la grande diversité des réactions pouvant se produire au sein de l'eau ne nous permettant pas de connaître les transformations auxquelles sont soumises les différentes substances, la question ne peut être résolue d'une façon précise. Les auteurs compétents en la matière négligent en général ces considérations, ou se basent sur des théories individuelles.

Néanmoins, il nous a paru utile de donner les résultats que nous venons d'indiquer sous d'autres formes, que nous obtenons en admettant que :

1° Le chlore est combiné avec le Na et K.

2° L'acide sulfurique est lié d'abord aux Na et K restés libres, puis au Mg et en dernier lieu au Ca.

3° L'excédant des substances se trouve à l'état de carbonates.

Cette manière de voir est plus ou moins justifiée par de nombreux travaux effectués dans les laboratoires de M. le professeur Duparc[1]. Ces recherches semblent démontrer que, dans l'eau des lacs, les carbonates et bicarbonates dissous tendent à entrer en réaction avec le sulfate de chaux également dissous, de façon à former les sulfates et le carbonate ou bicarbonate de chaux correspondants, *jusqu'à l'établissement d'un certain équilibre.* — Ce dernier étant mal défini, pour faciliter les calculs, nous en faisons abstraction, en admettant que les réactions sont entièrement effectuées.

Les substances ainsi obtenues doivent donner par leur addition le poids du résidu sec de l'eau considérée. Il ne faut pas oublier cependant que le résidu est porté à 170° C., température à laquelle la plupart des matières perdent leur eau d'interposition et de cristallisation. Nous pourrons donc avoir comme éléments constitutifs du résidu sec après son séjour à l'étuve, les corps suivants : SiO_2, $Fe_2O_3+Al_2O_3$, NaCl, Na_2SO_4, Na_2CO_3, KCl, K_2SO_4, K_2CO_3, $MgSO_4$, $MgCO_3$, $CaSO_4$, $CaCO_3$ et MnO, tous à l'état sec et parfaitement anhydre. En tenant compte de ces considérations, et en

[1] Voir : *Recherches relatives à la décomposition des carbonates alcalino-terreux par les chlorures alcalins en présence d'eau,* par MM. H. Cantoni et G. Goguelia.

Étude de l'action des sulfates alcalins sur le phosphate tribarytique. Thèse par A. Corcelle.

Étude sur l'action des bromures alcalins sur le carbonate de baryum. Thèse par E. Taponnier.

admettant que les résultats des analyses soient rigoureusement exacts, le poids du résidu sec trouvé par pesée directe et par l'addition des valeurs calculées pour chaque substance, devrait être identique. Vu les erreurs d'observation, d'analyse et de calcul inévitables, nous prévoyons cependant qu'il ne nous sera pas possible d'arriver à une concordance parfaite. Cependant je me hâte d'ajouter que *cette façon de calculer et d'interpréter les résultats trouvés par l'analyse a le seul but de permettre leur contrôle. Elle n'a aucunement la prétention de fournir la composition chimique réelle, ni de l'eau, ni du terrain d'alimentation du lac considéré*[1].

Nous avons vu jusqu'à présent, avec tous les détails nécessaires, comment on procède à l'analyse d'un lac, soit au point de vue de ses propriétés physiques, soit à celui de ses propriétés chimiques. Il ne nous reste donc qu'à indiquer les résultats obtenus par nos recherches. Dans ce but, nous consacrerons à chaque lac une description détaillée, dans laquelle nous signalerons tout ce qui pourrait être utile pour en donner une image aussi précise que possible. Nous commencerons d'abord par les données concernant les recherches faites au lac même, en mentionnant en même temps les particularités de chacun d'eux, et terminerons en indiquant les résultats obtenus par l'analyse chimique de l'eau. Quelques clichés compléteront la description.

[1] Les chiffres qui nous ont servi de base pour nos calculs ont été tirés des *Logarithmische Rechnentafeln für Chemiker*, von Dr F.-W. Küster, dritte Auflage.

V. LES LACS

Résumé des résultats obtenus pour chacun d'eux.

La liste des données comprendra[1] :

Nom du lac, sa situation et feuille de l'atlas Siegfried sur laquelle se trouve celui-ci.

Altitude du niveau du lac.

Caractères des rivages.

Dimension et constitution du bassin lacustre.

Profondeur maxima.

Les variations de niveau annuelles approximatives.

Nombre, genre, provenance et longueur des affluents.

Nombre, genre et caractère des émissaires.

Caractères du terrain sous-lacustre.

Transparence de l'eau.

Couleur de l'eau.

Température de l'eau à la surface et au fond en degrés centigrades.

Date et heure auxquelles les recherches ont été effectuées.

Temps qu'il faisait durant les recherches.

Particularités du lac.

Analyse de l'eau et désignation de l'endroit où elle a été prélevée, (résultats directs et résultats interprétés).

1. Lac de Taney

(sur Vouvry, Valais, feuille 474).

Situé à une altitude de 1411 m., il est soutenu à l'est par un barrage peu élevé et étroit. Ses rivages sont abrupts, rocheux et en partie boisés,

[1] Nous nous sommes servi, pour tout contrôle, de la carte Siegfried.

sauf à l'amont et à l'aval. Sa longueur est d'environ 1 kil., sa largeur de 0,3 kil. et sa profondeur maxima atteint 31 m. Les variations de niveau, grâce à l'émissaire sous-lacustre, sont considérables. Celui-ci, primitivement naturel, est agrandi artificiellement. Il va se déverser dans le canal Stockalper, près Vouvry. Le seul affluent de quelque importance est superficiel. Il se nomme le Veau, prend naissance dans la vallée des Echerches, et atteint une longueur de 2 kil. Le fond du lac est formé d'une vase presque noire et impalpable. Quant à l'eau, sa transparence atteignait 7,0 m. et possédait la couleur VII. A la surface, la température était de 15° et au fond 5°. Les recherches ont été faites le 22 juillet 1902 à midi, par un temps clair et très peu de vent.

Le lac Taney est compris dans un synclinal de crétacique rouge et dominé par des parois de Malm. Il ne peut recevoir que des eaux provenant des couches rouges, du Dogger et du Lias. Un fait important à noter est que le trias n'apparaît nulle part dans son bassin d'alimentation, bien que celui-ci se trouve sur le flanc du Grammont. Nous prévoyons donc que les sulfates ne seront qu'en petites quantités dans son eau, tandis que les carbonates y joueront un rôle prédominant. C'est le type chimique du lac calcaire.

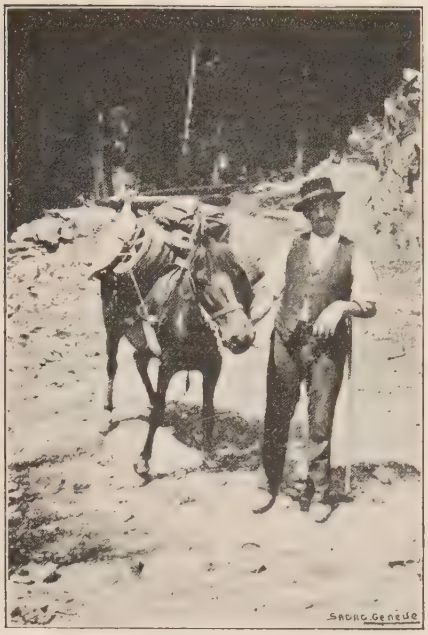
Analyse de l'eau (prélevée à la plus grande profondeur).

a) Résultats exprimés en milligr. par litre.

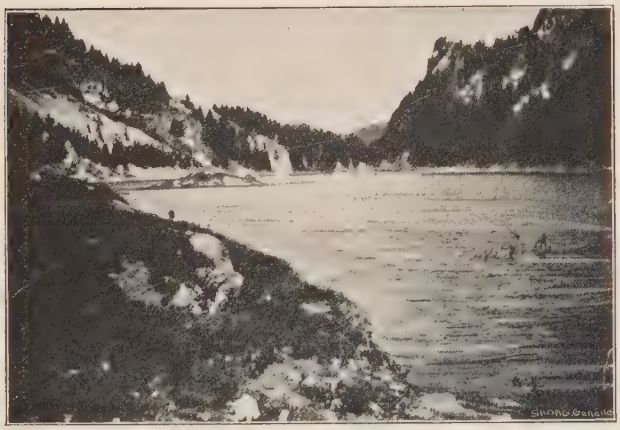
Résidu sec	122,2
SiO_2	3,0
$Fe_2O_3+Al_2O_3$	1,2
CaO	60,1
MgO	4,2
MnO	0,11
K_2O	1,1
Na_2O	1,4
Cl	1,0
SO_3	5,6
Oxydabilité	5,10

b) Résultats interprétés.

SiO_2	3,0
$Fe_2O_3+Al_2O_3$	1,2
NaCl	1,7
Na_2SO_4	1,1
Na_2CO_3	—
KCl	—
K_2SO_4	2,1
K_2CO_3	—
$MgSO_4$	6,0
$MgCO_3$	4,6
$CaSO_4$	—
$CaCO_3$	107,0
MnO	0,1
résidus sec trouvé par addition	126,8
» » » » pesée directe	122,2
	+ 4,6



Porteur de Vouvry avec son cheval chargé des appareils nécessaires aux recherches. A droite du cheval on aperçoit le treuil. Phot. prise dans la montée de Vouvry à Taney.



Lac de Taney. Vue prise près de l'affluent, montrant la partie inférieure du lac et son barrage.

2. Lac de Champex

(sur Orsières, Valais, feuille 529).

Situé à une altitude de 1472 m., il est encaissé dans une vallée coupée dans toute sa largeur par un barrage peu élevé. Ses rives, surtout au sud-est, sont abruptes et boisées, tandis que vers l'amont, à l'embouchure de

l'Arpette, le terrain est marécageux. Etant un des plus petits, ce lac présente une longueur de 600 m. et une largeur de 300 m. seulement. Sa profondeur maxima ne dépasse pas 5 m. et les variations de niveau sont petites. Il est alimenté par un petit ruisseau, l'Eau d'Arpette, prenant naissance à Arpettaz, situé à une distance de 1,5 km. Un seul émissaire traverse le barrage et va, après s'être bifurqué, se jeter dans la Dranse. Le sol sous-lacustre, près de l'affluent, d'une couleur gris-jaunâtre, est formé d'un tapis d'algues, très épais. Au fond cependant et vers l'émissaire, la vase est remplacée par du sable fin. A la date de la prise, l'eau avait une transparence de 4,5 m. et la couleur IX. A la surface, la température était de 14,5° et au fond 12,0°. Les recherches ont été faites le 24 juillet 1903 à 10 heures du matin, par un temps beau mais légèrement nuageux.

Le lac de Champex est entièrement situé dans les microgranulites et la protogine. C'est le type d'un lac dans les roches éruptives. Comme tel, il est caractérisé par un résidu sec très minime, qui distingue les lacs silicatés des lacs calcaires. Un fait curieux à signaler est sa haute teneur en chlore et en sodium. Ces substances proviennent évidemment de la proximité des hôtels de Champex. Le lac étant particulièrement peu profond, l'influence de ces infiltrations se fait ressentir d'autant mieux. Pour la même raison, le terrain marécageux de l'amont agit d'une manière considérable sur la couleur de l'eau, en lui donnant une teinte jaunâtre.

Lac de Champex. Vue générale prise de l'amont. Au premier plan à droite, le terrain marécageux, près de l'affluent. Au fond à droite le barrage boisé.

Analyse de l'eau (prélevée à la plus grande profondeur).

a) Résultats exprimés en millig. par litre.

Résidu sec	26,9
SiO_2	3,9
$Fe_2O_3 + Al_2O_3$	0,4
CaO	7,5
MgO	0,6
MnO	traces
K_2O	1,3
Na_2O	3,1
Cl	2,8
SO_3	2,7
Oxydabilité	7,50

b) Résultats interprétés.

SiO_2	3,9
$Fe_2O_3 + Al_2O_3$	0,4
NaCl	4,6
Na_2SO_4	1,6
Na_2CO_3	—
KCl	—
K_2SO_4	2,5
K_2CO_3	—
$MgSO_4$	1,1
$MgCO_3$	0,5
$CaSO_4$	—
$CaCO_3$	13,4
MnO	—
résidu sec trouvé par addition	28,0
» » » » pesée directe	26,9
différence	— 1,1

3. **Lac Noir**

(près Plaffeyen, Fribourg, feuille 364).

Situé à une altitude de 1048 m., il possède des rives qui, surtout au nord et au nord-ouest, sont très marécageuses. A son extrémité supérieure, celles-ci sont dominées par des escarpements à pic, tandis qu'au sud-est elles sont formées par des talus. La longueur du lac est de 1,4 km. et sa largeur de 0,5 km. Sa profondeur maxima n'est que de 10,1 m. Les variations de niveau du lac sont minimes. Il est alimenté par 9 affluents, parmi lesquels deux, le Neuschelsbach et le Seeweidbach, atteignent une longueur de 3 km. pour le premier et 2,5 km. pour le second. Celle des autres varie entre 1,5 et 0,5 km. Il n'existe qu'un seul émissaire superficiel, assez important, le Warme Sense, qui va se jeter dans la Sarine. Le sol sous-lacustre est formé d'une vase impalpable. La couche supérieure de celle-ci est noire et sent l'hydrogène sulfuré. Les couches inférieures ne possèdent aucun caractère remarquable et sont d'une couleur gris-jaune. Ce fait est expliqué par la présence de sources sulfureuses. La transparence de l'eau était de 5,0 m. Quant à la couleur, elle correspondait au V de la gamme

Forel, tout en ayant une teinte noirâtre, tout à fait particulière. La température à la surface était de 14,0° et au fond de 12,0°. Les recherches ont été faites le 2 août 1902, à 5 heures du matin, par un temps sombre et une pluie torrentielle.

Le lac Noir est dans le Flysch. Il est alimenté par des eaux provenant du Flysch et du Trias. Par la nature de ses eaux et surtout par leur teneur en sulfates, il rentre dans le type des lacs calcaires. C'est le poids considérable du résidu sec et la présence de grandes quantités de $CaSO_4$ et $MgSO_4$ qui caractérisent surtout les eaux de ce lac. Celui-ci présente aussi, comme nous l'avons dit plus haut, des sources sulfureuses très abondantes. Des entonnoirs de gypse se trouvent dans son voisinage.

Grâce aux eaux sulfureuses, il a quelque analogie avec les lacs Ritom et Cadagno.

Analyse de l'eau (prélevée à la plus grande profondeur).

a) Résultats exprimés en milligr. par litre.

Résidu sec	270,5
SiO_2	1,9
$Fe_2O_3+Al_2O_3$	1,3
CaO	111,0
MgO	10,1
MnO	traces
K_2O	4,2
Na_2O	2,3
Cl	1,2
SO_3	85,5
Oxydabilité	7,20

b) Résultats interprétés.

SiO_2	1,9
$Fe_2O_3+Al_2O_3$	1,3
NaCl	2,0
Na_2SO_4	2,9
Na_2CO_3	—
KCl	—
K_2SO_4	2,3
K_2CO_3	—
$MgSO_4$	30,3
$MgCO_3$	—
$CaSO_4$	106,3
$CaCO_3$	120,0
MnO	—
résidu sec trouvé par addition	267,0
» » » » pesée directe	270,5
différence	— 3,5

4. Lac d'Amsoldigen

(près Thoune, Berne, feuille 354).

Il est situé à une altitude de 643 m. Ses rives sont peu accidentées et en partie marécageuses, à l'exception de la rive sud-ouest qui monte en pente

douce. Le lac constitue un bassin ayant 1,1 kil. de long, 0,5 kil. de large et dont la profondeur maxima est de 14,2 m. Les variations de niveau ne sont que très minimes. Il est alimenté par 4 affluents, atteignant une longueur d'environ 1 kil. L'un d'eux est l'émissaire direct de l'Uebischisee. Une source se trouve à l'aval, sur la rive droite. L'eau du lac s'écoule par un émissaire superficiel, le Wahlenbach, qui va se jeter dans l'Aar. Le terrain sous-lacustre est formé entièrement d'une vase jaune brune, impalpable. La transparence était de 2,7 m. seulement et la couleur X. A la surface la température de l'eau atteignait 23,0° et au fond 12,0°. Les recherches ont été faites le 30 juillet 1902, à 11 heures du matin, par un temps clair et très calme.

Le lac d'Amsoldingen possède un soubassement de molasse ou de Flysch. Son lit est creusé dans la moraine. Le Trias de la lame inférieure des Préalpes arrive à proximité, mais n'exerce aucune influence sur les caractères du lac. Celui-ci présente un fort résidu sec, mais ne contient que peu de sulfates et de magnésie. Outre cela, il est presque dans les conditions tectoniques du lac Noir. Sa couleur, qui tire vers le jaune, nous révèle clairement l'influence de ses rives marécageuses.

Analyse de l'eau (prélevée à la plus grande profondeur).

a) Résultats exprimés en milligr. par litre.

Résidu sec	201,7
SiO_2	6,0
$Fe_2O_3 + Al_2O_3$	0,5
CaO	92,7
MgO	5,8
MnO	traces
K_2O	2,2
Na_2O	4,8
Cl	3,5
SO_3	5,4
Oxydabilité	13,20

b) Résultats interprétés.

SiO_2	6,0
$Fe_2O_3 + Al_2O_3$	0,5
NaCl	5,8
Na_2SO_4	4,0
Na_2CO_3	—
KCl	—
K_2SO_4	4,1
K_2CO_3	—
$MgSO_4$	2,0
$MgCO_3$	10,8
$CaSO_4$	—
$CaCO_3$	165,0
MnO	—
résidus sec trouvé par addition	198,2
» » » » pesée directe	201,7
différence	— 3,5

Lac d'Amsoldingen. Vue sur la rive sud, avec son terrain marécageux.

5. Lac de Lauenen

(près Saanen, Berne, feuille 472).

Il est situé à une altitude de 1379 m. Ses alentours sont très marécageux, surtout vers le sud. Les dimensions du lac changent beaucoup suivant les saisons. Sa longueur notamment est très variable. Elle est en moyenne de 0,5 kil. Sa largeur n'est que de 0,2 kil. et sa profondeur maxima atteint 4,0 m. Les variations de niveau sont considérables. Le lac est coupé par un barrage de peu d'importance, qui tend à le séparer en deux bassins distincts. Il est alimenté par deux affluents superficiels, le Lauibach et le Seebach, d'une longueur de 2 kil. chacun. Il existe en outre à l'amont un grand nombre de sources sous-lacustres. Le Sälibrunne, prenant naissance comme source à proximité du rivage, vient aussi se jeter dans le lac. Ce dernier possède deux émissaires dont l'un sous-lacustre et l'autre superficiel. Le premier a un débit régulier durant toute l'année, tandis que le second ne fonctionne que pendant les hautes eaux. Les deux se réunissent après un petit parcours et vont se jeter dans le Rohrbach. La vase est gris foncé, fine, et formée d'une foule de débris organiques. La transparence de l'eau atteignait 4 m. et sa couleur était VIII. La température à la surface était de 17,0° et celle du fond, grâce à la petite profondeur du lac, atteignait 16,0°. Les recherches ont été faites le 27 juillet 1902 à 2 heures, par un temps clair et un peu de vent.

Le lac de Lauenen est situé dans le glaciaire et dans le nummulitique

des hautes Alpes. On pouvait s'attendre à ce que ses eaux soient très riches en chaux. Quant à sa forte teneur en $CaSO_4$, nous l'attribuons en partie aux affleurements de gypse, qui se trouvent au nord dans les Walliser-Windspillen. Ceux-ci ne suffiraient pas cependant pour donner une si grande proportion de sulfates. Nous sommes donc obligé d'expliquer ce fait par la présence des nombreuses sources qui alimentent le lac. Leur eau, selon toute probabilité, doit être fortement gypseuse.

Analyse de l'eau (prélevée à la plus grande profondeur)

a) Résultats exprimés en milligr. par litre.

Résidu sec	304,8
SiO_2	3,2
$Fe_2O_3 + Al_2O_3$	0,4
CaO	116,0
MgO	13,2
MnO	traces
K_2O	1,5
Na_2O	2,3
Cl	0,3
SO_3	112,9
Oxydabilité	4,88

b) Résultats interprétés.

SiO_2	3,2
$Fe_2O_3 + Al_2O_3$	0,4
NaCl	0,5
Na_2SO_4	4,6
Na_2CO_3	—
KCl	—
K_2SO_4	2,7
K_2CO_3	—
$MgSO_4$	39,6
$MgCO_3$	—
$CaSO_4$	140,9
$CaCO_3$	105,0
MnO	—
résidu sec trouvé par addition	296,9
» » » » pesée directe	304,8
différence	— 7,9

Lac de Lauenen. Vue générale montrant au premier plan le terrain très marécageux de l'amont et au fond le grand barrage soutenant le lac.

Les deux porteurs chargés des appareils nécessaires aux recherches.

Dans l'arrière-plan le lac de Lauenen

6. Lac d'Arnen

près Saanen, Berne, feuille 471.

Le lac se trouve à une altitude de 1538 m. Il est encaissé dans une profonde vallée. Ses rives sont boisées et abruptes de tous côtés, excepté vers l'émissaire où elles s'aplanissent légèrement. Il a une longueur de 1,1 kil. et une largeur de 0,4 kil. Sa profondeur maxima est de 39,2 m. Les variations de niveau sont minimes. Ce lac possède 7 affluents superficiels, dont 6 d'une longueur variant entre 1,2 et 0,5 kil. Le plus important, le Seebach, prend naissance dans un petit lac situé à 2 kil. Il n'existe qu'un seul émissaire superficiel, le Tschezisbach, qui va se jeter dans la Sarine. Le terrain sous-lacustre, près de l'affluent principal, est formé de sable fin. Au fond et vers l'émissaire, il est remplacé par une vase grise impalpable. La transparence de l'eau atteignait 4,0 m et la couleur était VII. Quant à la température, elle était de 15,0° à la surface et de 6,0° au fond. Les recherches ont été faites le 26 juillet 1902 à 1 heure, par un temps beau, avec

vent assez fort par moments. Le lac d'Arnen est entièrement dans le Flysch. Il n'est donc pas étonnant que son eau contienne de grandes quantités de chaux à l'état de carbonate, et qu'elle soit relativement pauvre en sulfates. Nous attribuons l'importance de sa teneur en SiO_2 et en sels sodiques à la présence de conglomérats à cailloux cristallins, qui constituent en grande

Lac d'Arnen, vue générale. Au premier plan l'émissaire à l'endroit où il quitte le lac.

partie le bassin d'alimentation. C'est à eux aussi que sont dues les quantités très notables de manganèse qu'on trouve dans l'eau de ce lac et surtout dans celle du fond. Il nous semblait d'abord logique d'expliquer ce phénomène par la présence de sources amenant une eau fortement minéralisée

Lac d'Arnen. Barque ayant servi aux recherches et montrant la disposition des différents appareils. A l'arrière plan, l'amont du lac.

et surtout riche en sels de manganèse, et nous supposions que l'eau des affluents superficiels ne devait pas en renfermer du tout. Des analyses ultérieures nous ont prouvé qu'il n'en était pas ainsi.

Voici quelques résultats obtenus par l'analyse de l'eau de la surface du lac, ainsi que de celle des principaux affluents. Je remercie M. Wehren,

maître d'école de Saanen, qui a mis gracieusement à notre disposition l'eau nécessaire à ces analyses.

1° Eau de la surface du lac prélevée en été 1903.

rés. sec	125,0	milligr.	par	litre.
SiO_2	2,4	»	»	»
CaO	58,0	»	»	»
MgO	3,3	»	»	»
MnO	0,013	»	»	»
Cl	—			
SO_3	4,3	»	»	»

2° Affluent du Studelberg (eau prélevée en été 1903).

rés. sec	108,4	milligr.	par	litre.
MnO	0,013	»	»	»

3° Affluent du Seeberg (eau prélevée en été 1903).

rés. sec	99,2	milligr.	par	litre.
MnO	0,013	»	»	»

Analyse de l'eau (prélevée le 26 juillet 1902 à la plus grande profondeur).

a) Résultats exprimés en milligr. par litre.

Résidu sec	145,8
SiO_2	4,5
$Fe_2O_3+Al_2O_3$	0,5
CaO	71,5
MgO	3,5
MnO	0,89
K_2O	1,6
Na_2O	3,3
Cl	—
SO_3	4,3
Oxydabilité	5,07

b) Résultats interprétés.

SiO_2	4,5
$Fe_2O_3+Al_2O_3$	0,5
NaCl	—
Na_2SO_4	7,7
Na_2CO_3	—
KCl	—
K_2SO_4	—
K_2CO_3	2,4
$MgSO_4$	—
$MgCO_3$	7,3
$CaSO_4$	—
$CaCO_3$	127,3
MnO	0,9
résidu sec trouvé par addition	150,6
» » » pesée directe	145,8
différence	+ 4,8

Si nous comparons ces résultats entre eux nous voyons que :

1° Les affluents amènent déjà une assez grande quantité de manganèse, quantité égale dans l'eau des deux affluents et celle de la surface du lac.

2° L'eau du fond possède un résidu sec supérieur à celui de l'eau de la surface, tout en présentant des quantités à peu près proportionnelles de CaO et MgO. La valeur en MnO est cependant bien supérieure à celle de l'eau de la surface.

Nous pouvons en conclure que cette dernière constitue à peu de chose près (nous ne possédons pas l'analyse de l'eau des autres affluents qui peut être plus fortement minéralisée) un mélange de l'eau des différents affluents et que c'est à une concentration des couches supérieures qu'est probablement due la forte teneur en matières dissoutes des eaux du fond. Cette idée se trouve du reste justifiée par la plupart des analyses faites sur l'eau des petits lacs [1].

Quant à la proportion particulièrement élevée du MnO dans les couches inférieures, nous pouvons l'expliquer par des réactions chimiques se produisant au sein du lac, qui permettraient au manganèse de s'y maintenir sous une forme très soluble.

Nous donnerons plus loin des détails sur les concentrations et les réactions chimiques susceptibles de se produire au sein des lacs et pouvant faire varier la composition de l'eau des différentes couches.

7. **Lac d'Œschinen**

(sur Kandersteg, Berne, feuille 488).

Situé à une altitude de 1583 m., il est entouré de falaises tombant à pic, qui sont remplacées à l'aval par un barrage très important. Ce lac compte parmi les plus grands, ayant une longueur moyenne de 1,7 km. et une largeur de 1,0 km. Sa profondeur maxima atteint la valeur considérable de 63,0 m. Les variations de niveau sont particulièrement grandes. Elles dépassent 10 m. Le lac est alimenté par 8 affluents venant des glaciers du Doldenhorn, de Fründen, d'Œschinen et des névés se trouvant au-dessous du Blümlisalphorn. L'affluent le plus important prend naissance au glacier de la Blümlisalp et à l'Œschinengrat. Tous ces torrents sont relativement courts, possédant une longueur variant entre 1 et 2 km. Ils

[1] Voir Delebecque, *Les lacs français*.

forment de nombreuses cascades. L'écoulement du lac est souterrain et s'effectue par un grand nombre de petits ruisseaux traversant le barrage. La vase est gris foncé, fine. La transparence de l'eau était de 1,0 m. seulement et la couleur V. A la surface, malgré la situation élevée de ce lac, la température atteignait 19,0°, tandis qu'au fond elle ne dépassait pas 6,0°. Nous remarquons ici l'échauffement extraordinaire des couches supérieures. Ceci est dû à l'absorption des rayons solaires par l'eau fortement troublée et laiteuse. Les recherches ont été faites le 29 juillet 1902, à 2 heures, par un temps clair et un peu de vent.

Lac d'Œschinen. Partie du fond, montrant les trois principaux affluents venant du Blümlisalp — Œschinen — et Fründenhorn, tombant en cascades presque verticalement dans le lac, et formant un vaste delta sablonneux.

Le lac d'Œschinen, situé dans le Malm, est caractérisé par son résidu sec relativement faible, bien que ses affluents proviennent du crétacé supérieur, constituant un terrain facilement soluble. Ceci s'explique par le genre d'alimentation. Les affluents, en effet, prennent naissance dans les glaciers et névés qui leurs fournissent une eau très faiblement minéralisée. Celle-ci ne saurait se charger fortement de matières en solution, dans son parcours limité. Nous avons ici une preuve frappante que *l'eau ne tient pas ses corps en solution du bassin du lac, mais presque uniquement du terrain que traversent ses affluents*. Quant aux immenses variations de niveau observées, elles s'expliquent par l'absence complète d'émissaire superficiel. La crue des affluents provoquée par la fonte des glaces et névés provoque inévitablement une forte élévation du niveau du lac.

Analyse de l'eau (prélevée à la plus grande profondeur).

a) Résultats exprimés en milligr. par litre.

Résidu sec	78,4
SiO_2	2,0
$Fe_2O_3+Al_2O_3$	traces
CaO	37,4
MgO	4,9
MnO	traces
K_2O	2,6
Na_2O	0,8
Cl	2,6
SO_3	7,7
Oxydabilité	3,02

b) Résultats interprétés.

SiO_2	2,0
$Fe_2O_3+Al_2O_3$	traces
NaCl	1,5
Na_2SO_4	—
Na_2CO_3	—
KCl	3,6
K_2SO_4	0,7
K_2CO_3	—
$MgSO_4$	11,2
$MgCO_3$	2,5
$CaSO_4$	—
$CaCO_3$	66,6
MnO	—
résidu sec trouvé par addition	88,1
» » » pesée directe	78,4
différence	+ 9,7

8. **Lac Bleu**

(près Frutigen, Berne, feuille 463).

Il est situé à une altitude de 900 m. Ses rivages sont rocheux et boisés. Le lac est très petit. Sa longueur et sa largeur ne dépassent pas 100 m., mais sa profondeur de 10,0 m. est relativement grande. Les variations de niveau sont très minimes. Son seul affluent prend naissance comme source, à proximité du rivage, et l'émissaire est sous-lacustre. Quant au terrain sous-lacustre, il est formé de sable fin, près de l'affluent et, partout ailleurs, d'un tapis d'algues jaunâtres, répandant une forte odeur d'hydrogène sulfuré. *Nous ne trouvons cependant nulle part de vase bleue,* et même les algues gélatineuses qui couvrent les branches couchées dans le lac sont parfaitement incolores. Il n'y a donc pas lieu d'admettre l'action colorante de la vase, à laquelle on attribuait généralement la teinte bleue du lac. La transparence n'a pu être déterminée de la manière habituelle l'eau étant extrêmement limpide. Elle atteint la valeur énorme de 30 m. environ. La

couleur correspondait au II de la gamme Forel. La température de la surface et celle du fond ne présentaient qu'une petite différence, la première étant de 11,0° et celle du fond de 9,0°. Les recherches ont été faites le 29 juillet 1902 à 8 heures du soir, par un temps très calme.

Le lac Bleu est creusé dans la moraine. Il est entouré de falaises de crétacé et de Flysch. Ceci correspond avec le résidu sec relativement important de son eau et sa grande teneur en chaux. Nous sommes cependant obligés d'admettre la présence du Trias, dans les couches parcourues par les eaux de la source. Ce n'est que de cette manière que nous arrivons à comprendre la très forte proportion de magnésium et de SO_3 que nous révèle l'analyse. Ce qui caractérise spécialement le lac Bleu, c'est sa limpidité et sa coloration bleu azur, qui font le charme de ce petit lac tant visité par les étrangers. Ces caractères s'expliquent par la pureté de l'eau de la source qui l'alimente, et par l'absence presque totale d'eau de ruissellement ou d'infiltration.

Contrairement aux autres, bien que ne possédant qu'un émissaire souslacustre, ce lac ne présente qu'une différence de niveau minime. Nous attribuons ce fait au débit excessivement régulier de la source.

Analyse de l'eau (prélevée à la surface).

a) Résultats exprimés en milligr. par litre.

Résidu sec	169,3
SiO_2	4,2
$Fe_2O_3+Al_2O_3$	0,6
CaO	66,8
MgO	17,7
MnO	traces
K_2O	1,5
Na_2O	1,6
Cl	—
SO_3	23,6
Oxydabilité	1,85

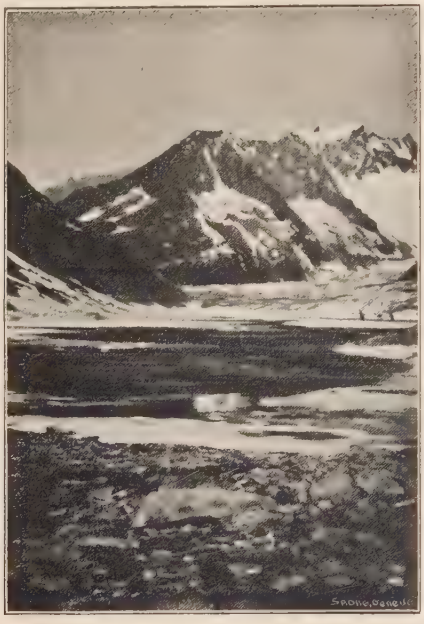
b) Résultats interprétés

SiO_2	4,2
$Fe_2O_3+Al_2O_3$	0,6
NaCl	—
Na_2SO_4	3,8
Na_2CO_3	—
K.Cl	—
K_2SO_4	2,8
K_2CO_3	—
$MgSO_4$	30,5
$MgCO_3$	15,8
$CaSO_4$	—
$CaCO_3$	118,9
MnO	—
résidu sec trouvé par addition	176,6
» » » pesée directe	169,3
différence	+ 7,3

9. **Lac Merjelen**

(sur Fiesch, Valais, feuille 493).

Il se trouve à une altitude de 2367 m. Ses rives sont dépourvues de végétation, rocheuses et abruptes, excepté à l'est, où une moraine soutient le lac, et à l'ouest, où le glacier d'Aletsch vient former barrage. Lorsque les eaux sont hautes, le lac présente une nappe uniforme de 1,5 kil de long et de 0,6 kil. de large. Lorsqu'elles sont basses, un barrage médian apparaît, le divisant en deux bassins distincts, dont le plus grand a 47,0 m. de profondeur et le plus petit 12,0 m. seulement. Ils sont alimentés par deux



Lac Merjelen. Vue générale du grand lac, montrant à l'arrière plan le glacier d'Aletsch qui forme barrage et soutient le lac.

affluents superficiels. L'un d'eux prend naissance dans les névés de l'Eggishorn, l'autre vient d'un lac situé sur la Merjelenalp. Le petit bassin possède un émissaire superficiel, le Seebach, qui, après un parcours de 2 kil., disparaît sous le glacier de Fiesch, reparaît plus bas comme Fiescherbach, et va se joindre au Rhône. Le grand bassin, au contraire, a un écoulement

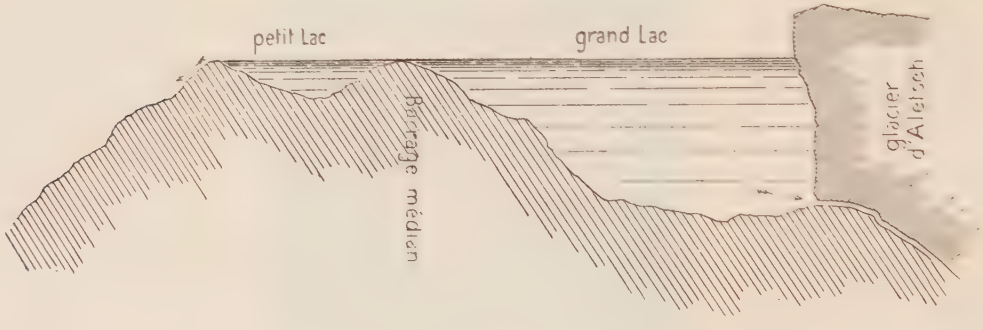
sous-lacustre, qui traverse le glacier d'Aletsch. Après l'avoir quitté comme Massa, il va se jeter dans le Rhône. Le fond du lac semble être entièrement formé de blocs de rochers. La transparence n'a pu être déterminée à cause de la glace. La couleur de l'eau était VII. A la surface du grand lac, près de l'affluent, la température n'atteignait que 2,5°. Quant à ce qui concerne les variations de niveau, elles sont considérables et correspondent du reste avec le genre d'écoulement du grand lac. Les recherches ont été faites le 15 juillet 1903, à 8 heures du matin, par un temps beau et calme.

Le lac Merjelen est entièrement creusé dans le gneiss et adossé au glacier d'Aletsch. Il n'est pas alimenté par celui-ci, si ce n'est par la fonte de la glace. Les affluents du lac viennent du gneiss et amènent une eau qui, pauvre en matières dissoutes, possède les caractères de celle des régions silicatées.

Le lac Merjelen est le type d'un lac de col. Il présente la particularité de chevaucher entre l'un et l'autre versant de ce dernier, dont le point culminant est le barrage médian. En plus, il a la propriété curieuse de se déverser en même temps dans deux différentes vallées et de posséder à la fois un écoulement superficiel et sous-lacustre.

Tout change à basses eaux et nous avons alors devant nous, comme nous l'avons déjà mentionné, deux bassins bien distincts.

Le dessin suivant montrera les dispositions particulières de ce lac[1].



[1] Sur cette esquisse nous avons exagéré la profondeur du lac par rapport à ses dimensions horizontales afin de rendre le dessin plus explicite.

Lac Merjelen. Vue générale du petit lac, situé à l'est du grand. A gauche le barrage médian qui par les hautes eaux est submergé.

Analyse de l'eau (prélevée à l'amont du grand lac, près de l'affluent).

a) Résultats exprimés en milligr. par litre.

Résidu sec	12,9
SiO_2	1,4
$Fe_2O_3+Al_2O_3$	0,8
CaO	3,4
MgO	0,4
MnO	traces
K_2O	2,6
Na_2O	1,3
Cl	traces
SO_3	3,7
Oxydabilité	4,49

b) Résultats interprétés.

SiO_2	1,4
$Fe_2O_3+Al_2O_3$	0,8
NaCl	—
Na_2SO_4	3,1
Na_2CO_3	—
KCl	—
K_2SO_4	4,4
K_2CO_3	0,3
$Mg\ SO_4$	—
$MgCO_3$	0,8
$CaSO_4$	—
$CaCo_3$	6,1
MnO	—
résidu sec trouvé par addition	16,9
» » » pesée directe	12,9
différence	+ 4,0

10. **Lac du Grimsel**

Berne, feuilles 397—490.

Situé à une altitude de 1875 m., entre des falaises abruptes, rocheuses et presque dépourvues de végétation. Sa longueur totale est d'envi-

ron 0,5 kil et sa largeur de 0,15 kil. Il est formé de deux bassins distincts. Le supérieur a 18,5 m. de profondeur tandis que l'inférieur en a 12,6 m. (d'après Delebecque). Les variations de niveau sont petites. Le lac est alimenté par plusieurs petits affluents insignifiants et par deux grands, d'une longueur de 1,0 kil. L'un deux vient du Hausegg et se déverse dans le bassin inférieur, l'autre prend naissance dans une série de petits lacs au Nägelisgrätli et se jette dans le bassin supérieur. Il n'existe qu'un seul émissaire, qui est superficiel. Celui-ci, après un parcours de 0,4 kil. seulement, va se joindre à l'Aar. La vase au bord, à l'endroit de la prise, est brune et sablonneuse. La transparence déterminée par M. Delebecque le 10 juillet 1904 était de 9 m. pour le bassin d'amont et 7 m. pour celui d'aval. L'eau lors de nos recherches avait la couleur IV dans les deux bassins. Quant à la température, elle était de 5,0° seulement, au bord du lac. Celle du fond n'a pas été prise. Les recherches ont été faites le 15 juillet 1903 à 8 heures du soir, par un beau temps calme.

Le lac du Grimsel est creusé dans le granit. Comme nous le verrons, il possède un résidu sec encore plus faible que celui de Merjelen.

Lac du Grimsel. Vue prise de la route venant de Gletsch. A l'arrière plan le lac supérieur, séparé du lac inférieur par un étranglement qui soutient le pont.

Analyse de l'eau (prélevée au bord, près du pont).

a) Résultats exprimés en milligr. par litre.

Résidu sec	8,5
SiO_2	1,1
$Fe_2O_3+Al_2O_3$	0,4
CaO	2,2
MgO	0,3
MnO	—
K_2O	1,1
Na_2O	1,1
Cl	traces
SO_3	3,0
Oxydabilité	4,19

b) Résultats interprétés.

SiO_2	1,1
$Fe_2O_3+Al_2O_3$	0,4
NaCl	—
Na_2SO_4	2,6
Na_2CO_3	—
KCl	—
K_2SO_4	2,0
K_2CO_3	—
$MgSO_4$	0,9
$MgCO_3$	—
$CaSO_4$	—
$CaCO_3$	3,9
MnO	—
résidu sec trouvé par addition	10,9
» » » pesée directe	8,5
différence +	2,4

11. **Lac d'Engstlen**

(sur Innertkirchen, Berne, feuille 393).

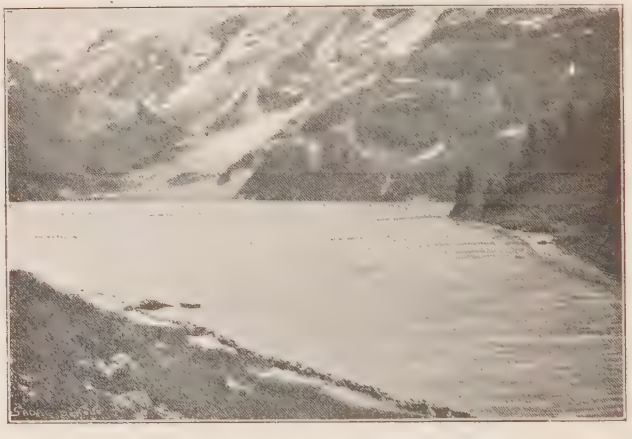
Le lac se trouve à 1852 m. d'altitude. Ses rivages sont formés de côtes abruptes, en partie boisées, et s'aplanissant à l'aval. Sa longueur est de 1,3 km. et sa largeur de 0,6 km. environ. Sa profondeur atteint la valeur considérable de 51 m. Les variations de niveau sont faibles. Plusieurs petits affluents et trois plus grands vont se jeter dans le lac. Le plus important d'entre eux vient des alentours du Joch-Pass, et atteint une longueur de 2 km. Le débit particulièrement fort de l'émissaire, par rapport aux quantités relativement faibles de l'eau amenée par les affluents, semble indiquer la présence de sources sous-lacustres abondantes. L'unique émissaire du lac est superficiel et va, comme Genthalwasser et Unterwasser, se jeter dans l'Aar. A l'amont, près de l'affluent principal, le sol sous-lacustre

est formé de sable, tandis que partout ailleurs c'est une vase fine d'une couleur gris-brun. La transparence de l'eau était de 8,0 m. et la couleur III. Les températures étaient de 12,0° à la surface et de 6,0° au fond. Les

Guide avec son cheval, ayant transporté les appareils d'Innerkirchen aux lacs d'Engstlen et de Melch. Au fond le lac d'Engstlen.

recherches ont été faites le 15 juillet 1903, à 1 heure, par un temps quelque peu nuageux et un peu de vent.

Le lac d'Engstlen est situé au contact du Flysch et du Dogger et la plus grande partie de son lit se trouve dans le jurassique. Ces caractères correspondent avec la proportion assez élevée de chaux contenue dans



Lac d'Engstlen. Vue prise de l'émissaire, montrant le haut du lac et ses rives abruptes.

son eau. Quant à l'acide sulfurique, qui par rapport au résidu sec a une assez grande importance, elle s'explique par la présence d'affleurements de trias, au sud du lac. On voit ainsi l'influence très considérable qu'exercent des quantités de trias, même très minimes, sur la composition de l'eau. Ce fait se confirme sur un grand nombre d'autres lacs.

Analyse de l'eau (prélevée à la plus grande profondeur).

a) Résultats exprimés en milligr. par litre.		*b)* Résultats interprétés.	
Résidu sec	97,5	SiO_2	3,0
SiO_2	3,0	$Fe_2O_3+Al_2O_3$	0,3
$Fe_2O_3+Al_2O_3$	0,3	NaCl	—
CaO	45,8	Na_2SO_4	0,9
MgO	3,1	Na_2CO_3	—
MnO	traces	KCl	—
K_2O	1,3	K_2SO_4	2,3
Na_2O	0,4	K_2CO_3	—
Cl	—	$MgSO_4$	9,3
SO_3	12,5	$MgCO_3$	—
Oxydabilité	2,38	$CaSO_4$	8,2
		$CaCO_3$	76,3
		MnO	—
		résidu sec trouvé par addition	100,3
		» » » pesée directe	97,5
		différence	+ 2,8

12. **Lac de Melch**

(sur Melchthal, Unterwald, feuille 393).

Le lac est situé à une altitude de 1883 m., sur un haut plateau. Les rives peu accidentées deviennent marécageuses vers l'est. Sa longueur est de 0,6 km. et sa largeur de 0,5 km. La profondeur maxima atteint 14 m. seulement et les variations de niveau sont petites. Le lac est alimenté par trois affluents, provenant des environs du Melchseestock et de la Melchseealp. Ils ont des longueurs variant entre 0,7 km. pour le plus court et 2,4 km. pour le plus important d'entre eux. L'unique émissaire est superficiel. Il disparaît cependant dans le sol, au bout d'un parcours de 300 m. Le terrain sous-lacustre est partout formé d'une vase gris-foncé, impalpable. Quant à la transparence de l'eau, elle atteignait 4,0 m. Sa couleur était VI et les températures à la surface et au fond étaient de 10,0° et 5,0°. Les recherches ont été faites le 17 juillet 1903 à 8 heures du matin par un temps légèrement couvert et un peu de vent.

Le lac de Melch est lui-même situé dans la formation d'éboulis, mais il est dominé par des parois calcaires, appartenant au jurassique et au lias. Il y a absence complète de trias, ce qui se traduit par une très faible teneur de l'eau en sulfates. Par contre, elle contient une forte proportion de MnO.

Analyse de l'eau (prélevée à la plus grande profondeur).

a) Résultats exprimés en milligr. par litre.

Résidu sec	83,7
SiO_2	2,4
$Fe_2O_3+Al_2O_3$	0,6
CaO	40,8
MgO	2,1
MnO	0,16
K_2O	1,3
Na_2O	1,4
Cl	—
SO_3	5,4
Oxydabilité	2,07

b) Résultats interprétés.

SiO_2	2,4
$Fe_2O_3+Al_2O_3$	0,6
NaCl	—
Na_2SO_4	3,3
Na_2CO_3	—
KCl	—
K_2SO_4	2,3
K_2CO_3	—
$MgSO_4$	3,8
$MgCO_3$	1,8
$CaSO_4$	—
$CaCO_3$	72,6
MnO	0,2
résidu sec trouvé par addition	87,0
» » » pesée directe	83,7
différence	+ 3,3

13. **Lac de Lungern**

Unterwald, feuilles 389-388.

Il est situé à une altitude de 657 m. Les rives tombent en partie à pic, en partie forment des talus de prairies. Vers l'amont le sol est marécageux. C'est l'ancien terrain sous-lacustre. Le lac présente un bassin d'une longueur de 2 km. Celui-ci est très étroit vers son extrémité inférieure, tandis qu'il a une largeur maxima de 0,8 km. à l'amont. Sa plus grande profondeur est de 33 m. Les variations de niveau sont très fortes. Parmi ses nombreux affluents, ce sont surtout ceux provenant du Schinberg, la Ropp et la Steinlaui, qui sont importants. Plusieurs sources viennent encore alimenter le lac. Il n'existe qu'un seul émissaire. Celui-ci

est artificiel. Il est percé dans le barrage et quitte son trajet souterrain de 0,6 km. sous le nom d'Aawasser. Puis il va se joindre à la petite Melchaa et se jette avec elle dans le lac de Sarnen. Le sol sous-lacustre est partout formé d'une vase impalpable, gris-brun, semblant contenir des quantités de fer appréciables. L'eau était très limpide et atteignait une transparence de 7,0 m. Sa couleur était V. Sa température à la surface était de 14,0° et celle du fond de 5,0°. Les recherches ont été faites le 18 juillet 1903 à 6 heures du matin, par un beau temps, mais un peu de vent. Le lac de Lungern se trouve dans le crétacé. On observe dans ses eaux une forte proportion de magnésie et d'acide sulfurique. Ces corps sont amenés par le Dundelbach, qui vient d'une région où apparaît le trias. Il existe de même quelques sources sulfureuses, qui peuvent contribuer à augmenter la quantité de ces deux substances. Ce lac présente actuellement un bassin bien plus restreint qu'il ne l'était quelques années auparavant, lorsque celui-ci s'étendait jusqu'à Lungern. C'est par un tunnel percé dans le barrage que l'on est arrivé à faire baisser considérablement le niveau du lac. On distingue encore maintenant les limites de l'ancien sol sous-lacustre, transformé en prairies.

Analyse de l'eau (prélevée à la plus grande profondeur).

a) Résultats exprimés en milligr. par litre.

Résidu sec	194,0
SiO_2	4,5
$Fe_2O_3+Al_2O_3$	0,2
CaO	86,0
MgO	11,2
MnO	—
K_2O	1,8
Na_2O	3,8
Cl	1,2
SO_3	17,5
Oxydabilité	3,84

b) Résultats interprétés.

SiO_2	4,5
$FeO_3+Al_2O_3$	0,2
NaCl	2,0
Na_2SO_4	6,2
Na_2CO_3	—
KCl	—
K_2SO_4	3,3
K_2CO_3	—
$MgSO_4$	18,9
$MgCO_3$	10,3
$CaSO_4$	—
$CaCO_3$	153,1
MnO	—
résidu sec trouvé par addition	198,5
» » » pesée directe	194,0
différence	+ 4,5

14. Lac de Klönthal

sur Glaris, feuille 263.

Il est situé à 828 m. d'altitude. De tous côtés, les rivages sont boisés et abrupts, excepté à l'amont, à l'aval et sur une partie de la rive droite, où le terrain est plutôt plat et marécageux. Il compte parmi les plus grands lacs alpins. Sa longueur est de 2,7 kil., mais sa largeur ne dépasse pas 0,7 kil. La profondeur maxima est de 33,0 m., et les variations de niveau ne sont que minimes. Il est alimenté par trois grands affluents superficiels dont deux, la Tärliruns et la Schlattalpruns, ont une longueur l'un de 1,7 kil. et l'autre de 3 kil. Le plus important d'entre eux, la Klön, prend

Lac de Klönthal. Vue générale prise près de l'émissaire et montrant les rives abruptes.

naissance au Schwarzstock et au Glärnischfirn situé à 9 kil. du lac. De nombreuses sources sous-lacustres se trouvent à l'amont. Il n'existe qu'un seul émissaire qui va se jeter, près de Netstall, dans le canal de la Linth. Le terrain sous-lacustre est constitué par de la vase impalpable, gris-brun, semblant contenir des quantités appréciables de fer. L'eau était trouble et ne possédait qu'une transparence de 2,0 m. La couleur était VII et les températures atteignaient à la surface 13,0° et au fond 6,0°. Les recherches ont été faites le 19 juillet 1903 à 7 heures du matin, par un temps gris et pluvieux.

Le lac de Klönthal est situé dans le jurassique et le crétacé. Ses eaux

proviennent surtout des régions crétacées et lui donnent son caractère calcaire. La transparence restreinte de l'eau s'explique par la provenance de ses affluents, qui viennent des névés.

Analyse de l'eau (prélevée à la plus grande profondeur).

a) Résultats exprimés en millig. par litre.

Résidu sec	134,9
SiO_2	3,0
$Fe_2O_3+Al_2O_3$	0,2
CaO	62,4
MgO	7,3
MnO	—
K_2O	1,1
Na_2O	2,1
Cl	—
SO_3	11,6
Oxydabilité	1,77

b) Résultats interprétés.

SiO_2	3,0
$Fe_2O_3+Al_2O_3$	0,2
NaCl	—
Na_2SO_4	4,9
Na_2CO_3	—
KCl	—
K_2SO_4	2,1
K_2CO_3	—
$MgSO_4$	11,9
$MgCO_3$	7,0
$CaSO_4$	—
$CaCO_3$	111,1
MnO	—
résidu sec trouvé par addition	140,2
» » » pesée directe	134,9
différence	+ 5,3

15. **Lac de Murg**

Canton de St-Gall, feuille 264).

Il se trouve à une altitude de 1825 m. Ses rives sont particulièrement abruptes et rocheuses à l'amont, et donnent au lac une forme arrondie dont le diamètre est de 0,5 kil. environ. La profondeur maxima atteint 26,0 m. Les variations de niveau sont minimes. Le lac est alimenté par 4 affluents très peu importants, ne dépassant pas 0,8 kil. Son seul émissaire est superficiel. Il forme, peu de temps après l'avoir quitté, une série de deux petits lacs, situés à une distance de 500 m. l'un de l'autre, et à des altitudes respectives de 1815 et 1678 m. L'émissaire commun va se jeter

dans le lac de Wallenstadt. Nous trouvons comme sol sous-lacustre une vase rouge-brun. La transparence de l'eau atteignait 6,0 m. et la couleur était VIII. A la surface, la température était de 9,0° et celle du fond 5,0°. Les recherches ont été faites le 20 juillet 1903 à midi, par un temps gris et sombre.

Le lac de Murg est situé dans le Verrucano. Cependant, d'après sa teneur considérable en acide sulfurique, nous sommes obligés d'admettre la présence de trias dans son bassin d'alimentation. Il n'est pas impossible que ce dernier reçoive des sources plus ou moins chargées de gypse [1].

Analyse de l'eau (prélevée à la plus grande profondeur).

a) Résultats exprimés en milligr. par litre.

Résidu sec	104,0
SiO_2	8,5
$Fe_2O_3+Al_2O_3$	0,3
CaO	33,4
MgO	7,3
MnO	—
K_2O	0,9
Na_2O	1,4
Cl	—
SO_3	27,2
Oxydabilité	4,10

b) Résultats interprétés.

SiO_2	8,5
$Fe_2O_3+Al_2O_3$	0,3
NaCl	—
Na_2SO_4	3,3
Na_2CO_3	—
KCl	—
K_2SO_4	1,8
K_2CO_3	—
$MgSO_4$	21,9
$MgCO_3$	—
$CaSO_4$	17,2
$CaCO_3$	47,4
MnO	—
résidu sec trouvé par addition	100,4
» » » pesée directe	104,0
différence	— 3,6

16. **Lac Greppelen**

(Toggenburg, feuille 237).

Il est situé à une altitude de 1302 m. dans une plaine marécageuse. Au nord et au sud, les rives sont en pentes rapides et formées soit de prairies,

[1] Voir S. Blumer, *Zur Entstehung der Glarnischen Alpenseen*, Juni 1901. Inaugural-Dissertation.

soit de forêts. Les dimensions du lac sont de 0,2 km. en long et 0,15 km. en large. La profondeur ne dépasse pas 6,7 m. Il possède trois affluents superficiels, dont le principal atteint une longueur de 0,4 km. seulement. Le seul émissaire, le Seebach, est superficiel et va se jeter, après un trajet de 2,5 km., dans la Sentisthur. Le terrain sous lacustre est formé au bord d'une vase brune, composée surtout de débris organiques. La transparence n'a pas été déterminée, tandis qu'il a été trouvé comme couleur le VI de la gamme Forel. A la surface, la température de l'eau était de 10,0°. Les recherches ont été faites le 14 juin 1904 à 3 heures de l'après-midi par un temps clair, sans nuage [1].

Le lac Greppelen n'a qu'une très petite importance. Il se trouve dans un synclinal de Flysch, entre des chaînes formées de crétacique. C'est un lac calcaire typique. Les matières organiques y sont particulièrement abondantes, ce qui correspond avec le caractère marécageux des rives.

Analyse de l'eau (prélevée à la surface).

a) Résultats exprimés en milligr. par litre.

Résidu sec	116,1
SiO_2	1,1
$Fe_2O_3+Al_2O_3$	0,5
CaO	59,3
MgO	1,4
MnO	—
K_2O	1,0
Na_2O	0,8
Cl	—
SO_2	2,0
Oxydabilité	11,97

b) Résultats interprétés.

SiO_2	1,1
$Fe_2O_3+Al_2O_3$	0,5
NaCl	—
Na_2SO_4	2,0
Na_2CO_3	—
KCl	—
K_2SO_4	1,9
K_2CO_3	—
$MgSO_4$	—
$MgCO_3$	2,9
$CaSO_4$	—
$CaCO_2$	105,6
MnO	—
résidu sec trouvé par addition	114,0
» » » pesée directe	116,1
différence	— 2,1

[1] Observations faites par M. Tanner-Füllmann.

17. Lac Schönenboden

(Toggenburg, feuille 240).

Il se trouve à une altitude de 1104 m. Comme le précédent, il est situé dans une plaine marécageuse, et ce n'est qu'au nord qu'il possède des rives plus ou moins accidentées. Sa longueur est de 0,2 km. et sa largeur 0,15 km. La profondeur maxima est de 5,7 m. Ce lac est alimenté par un seul affluent ayant une longueur de 1,5 km. et prenant naissance à l'Oberhagalp. Son émissaire est la Simmi, qui va se jeter, près de Gams, dans le Rhin. Le sol sous-lacustre est formé au bord d'une vase gris brun, composée de débris organiques. Ni la transparence ni la couleur n'ont été déterminées. Quant à la température, elle était à la surface de 11,5°. Les recherches ont été faites le 13 juillet 1904, par un temps clair[1].

Le lac Schönenboden est situé sur le flanc d'un anticlinal crétacique. Il a beaucoup de ressemblance avec celui de Greppelen, soit par sa forte proportion de chaux, soit par la valeur très considérable des matières organiques.

Analyse de l'eau (prélevée à la surface).

a) Résultats exprimés en milligr. par litre.

Résidu sec	155,8
SiO_2	1,8
$Fe_2O_3+Al_2O_3$	0,3
CaO	79,0
MgO	3,1
MnO	—
K_2O	2,3
Na_2O	1,4
Cl	traces
SO_3	3,5
Oxydabilité	8,38

b) Résultats interprétés.

SiO_2	1,8
$Fe_2O_3+Al_2O_3$	0,3
NaCl	0,5
Na_2SO_4	2,7
Na_2CO_3	—
KCl	—
K_2SO_4	4,3
K_2CO_3	—
$MgSO_4$	—
$MgCO_3$	6,3
$CaSO_4$	—
$CaCO_3$	140,6
MnO	—
résidu sec trouvé par addition	156,5
» » » pesée directe	155,8
différence	+ 0,7

[1] Observations faites par M. Tanner-Füllmann.

18. Lac Seealp

(sur Appenzell, feuille 238).

Il est situé à une altitude de 1139 m., au pied du Sentis. Ses rives sont accidentées et sont en partie dominées par des falaises abruptes. La longueur du lac est de 0,7 km. et sa largeur 0,2 km. La profondeur atteint un maximum de 15,5 m. Les variations de niveau sont très minimes. Deux affluents, le Gloggerenbach et le Seealpbach, atteignant une longueur de 1,5 km. environ, lui fournissent leur eau. Son seul émissaire est superficiel. C'est le Schwendibach, qui plus bas se réunit au Weissbach, pour continuer, comme Sitter et Thur, son chemin vers le Rhin. Le fond du lac est constitué par une vase brune impalpable. Vu les travaux de barrage artificiel et la fonte des neiges, l'eau était fortement troublée et présentait la transparence minime de 1,6 m. Sa couleur était VIII.

Quant aux températures, celle de la surface était de 8,0°, tandis que celle du fond était de 5,7° [1]. Les recherches ont été faites le 21 mai 1904 à 2 h. par une pluie torrentielle.

Le lac Seealp est situé dans un synclinal de Seewerkalk. C'est un lac calcaire typique.

Analyse de l'eau (prélevé à la plus grande profondeur).

a) Résultats exprimés en milligr. par lit.		*b*) Résultats interprétés	
Résidu sec	106,6	SiO_2	2,6
SiO_2	2,6	$Fe_2O_3+Al_2O_3$	0,3
$Fe_2O_3+Al_2O_3$	0,3	NaCl	—
CaO	51,1	Na_2SO_4	2,2
MgO	3,2	Na_2CO_3	—
MnO	—	KCl	—
K_2O	1,4	K_2SO_4	2,7
Na_2O	1,0	K_2CO_3	—
Cl	—	$MgSO_4$	3,8
SO_3	4,2	$MgCO_3$	4,1
Oxydabilité	2,60	$CaSO_4$	—
		$CaCO_3$	91,0
		MnO	—
		résidu sec trouvé par addition	106,7
		» » » pesée directe	106,6
		différence	+ 0,1

[1] Observations faites par M. Tanner-Füllmann.

19. Lac Fälen

(Canton d'Appenzell, feuille 240).

Situé à une altitude de 1448 m., il est encaissé entre des falaises gigantesques. A l'ouest on aperçoit un petit plateau, la Fälenalp. Sa longueur de 1 km. est considérable relativement à sa largeur qui n'atteint que 0,1 km. La profondeur maxima est de 23,0 m. et les variations de niveau, grâce à l'écoulement sous-lacustre, sont excessivement fortes. L'affluent superficiel qui l'alimente est insignifiant. Il existe cependant, selon toute probabilité, de puissantes sources sous-lacustres, dont l'existence semble être prouvée par le fort débit de l'émissaire. Celui-ci ne réapparaît que dans la vallée du Rhin, près Sennwald, comme Rohrbach, à une distance de 5,5 km. du lac et une différence d'altitude de 622 m. Le sol sous-lacustre est rocheux à proximité des rivages. Par suite de la fonte des neiges, l'eau, qui d'habitude est limpide, était fortement troublée. La couleur n'a pu être déterminée. La température à la surface était de 10,0°. Les recherches ont été faites le 12 juin 1904, par un temps pluvieux et sombre[1].

Analyse de l'eau (prélevée à la surface).

a) Résultats exprimés en milligr. par litre.

Résidu sec	85,8
SiO_2	0,8
$Fe_2O_3+Al_2O_3$	0,4
CaO	42,7
MgO	2,2
MnO	—
K_2O	0,8
Na_2O	0,6
Cl	—
SO_2	3,3
Oxydabilité	4,34

b) Résultats interprétés.

SiO_2	0,8
$Fe_2O_3+Al_2O_3$	0,4
NaCl	—
Na_2SO_4	1,5
Na_2CO_3	—
KCl	—
K_2SO_4	1,5
K_2CO_3	—
$MgSO_4$	2,7
$MgCO_3$	2,7
$CaSO_4$	—
$CaCO_3$	76,0
MnO	—
résidu sec trouvé par addition	85,6
» » » pesée directe	85,8
différence	— 0,2

[1] Observations faites par M. Tanner-Füllmann.

Le lac Fälen est situé dans un synclinal de Seewerkalk. Bien que lac calcaire et alimenté par des sources, qui en général sont très minéralisées, il présente la particularité d'avoir une eau pauvre en matières dissoutes. Ce cas ne peut s'expliquer qu'en admettant, pour origine de l'affluent sous-lacustre, la région de la Bollenwies, située à 13 m. au-dessus du niveau du lac. Nous trouvons là un terrain marécageux, donnant naissance à un ruisseau qui disparaît bientôt dans le sol. Vu la petite distance qu'il aura à parcourir pour atteindre le lac, l'eau dans son trajet souterrain ne pourra se saturer.

20. **Lac de Davos**

(Canton des Grisons, feuille 419).

Il est situé à une altitude de 1562 m. Ses rives droite et gauche sont assez accidentées et en partie boisées. Elles s'aplanissent à l'aval et à l'amont. Quant à ses dimensions, elles sont de 1,4 km. pour la longueur et 0,5 km. pour la largeur. La profondeur maxima atteint 53,5 m., les variations de niveau sont minimes. Le lac est alimenté par 4 affluents, parmi lesquels le Todtalpbach et la rivière du Salzertöbeli, d'une longueur respective de 4,0 km. et 1,7 km., sont les plus importants. Il ne possède qu'un seul émissaire, le Landwasser qui rejoint l'Albula, laquelle se jette dans le Rhin. Le fond du lac est tapissé d'une vase fine, ayant une couleur gris-brun foncé. La transparence atteignait la valeur relativement considérable de 9,0 m. La couleur était V et les températures à la surface et au fond étaient de 13,0° et 5,5°. Les recherches ont été faites le 21 juillet 1903, à 3 heures par un temps pluvieux et un peu de vent.

Le lac de Davos est un lac de col situé entièrement dans le cristallin. Il reçoit cependant des eaux venant du trias et des serpentines. C'est ce qui explique l'énorme proportion de magnésie et d'acide sulfurique par rapport à la chaux et au résidu sec. C'est un des rares lacs qui présente des quantités très voisines de CaO et MgO.

Analyse de l'eau (prélevée à la plus grande profondeur).

a) Résultats exprimés en milligr. par litre.		*b)* Résultats interprétés.	
Résidu sec	63,9	SiO_2	7,1
SiO_2	7,1	$Fe_2O_3+Al_2O_3$	0,1
$Fe_2O_3+Al_2O_3$	0,1	NaCl	1,5
CaO	13,6	Na_2SO_4	3,3
MgO	11,5	Na_2CO_3	—
MnO	—	KCl	—
K_2O	1,4	K_2SO_4	2,6
Na_2O	2,2	K_2CO_3	—
Cl	0,9	$MgSO_4$	4,5
SO_3	9,7	$MgCO_3$	21,0
Oxydabilité	2,76	$CaSO_4$	—
		$CaCO_3$	24,2
		MnO	—
		résidu sec trouvé par addition	64,3
		» » » pesée directe	63,9
		différence	+ 0,4

21. **Lac Schotten**

(Fluelapass, Grisons, feuille 423).

Il se trouve à une altitude de 2388 m. Ses rives sont très inclinées et rocailleuses au sud-ouest. Partout ailleurs, ses rives sont plutôt planes. Ses dimensions sont très restreintes et ne dépassent pas 0,4 km. en longueur et 0,2 km. en largeur. La profondeur n'a pas été déterminée. Les variations de niveau sont négligeables. L'unique affluent du lac le relie au Schwarzsee, situé à proximité immédiate. L'émissaire est peu important. Le terrain sous-lacustre est formé d'une vase grise. La transparence de l'eau n'a pu être mesurée, mais celle-ci était limpide et possédait la couleur IV. L'eau possédait à la surface, au bord, une température de 4,0° C. Les recherches ont été faites le 22 juillet 1903, à 11 heures, par un temps clair.

Le lac Schotten est un lac de col typique. Il est situé au point culminant du col de la Fluela. Il ne forme en somme qu'un seul bassin avec le

Schwarzsee, dont il n'est séparé que par la route. La région qui l'alimente est extraordinairement restreinte et formée de gneiss et amphibolites. Par rapport à son résidu sec, l'eau contient beaucoup de magnésie et une proportion excessivement élevée d'acide sulfurique. Ce caractère semble indiquer la présence d'affleurements de trias dans le bassin d'alimentation. La quantité relativement forte de chlore et d'alcalis peut s'expliquer par la proximité du Fluela-hospice.

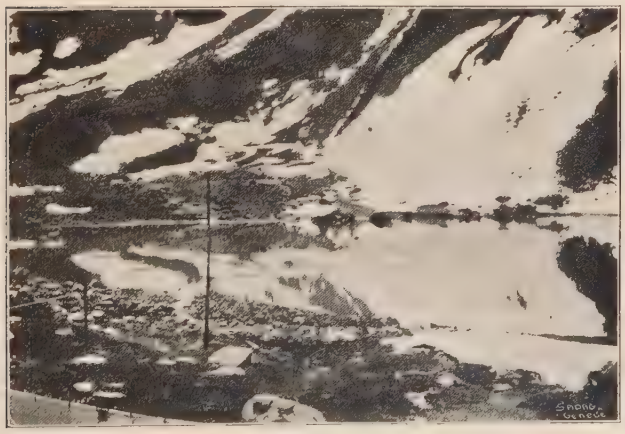
Analyse de l'eau (prélevée au bord).

b) Résultats exprimés en milligr. par litre.

Résidu sec	30,0
SiO_2	1,4
$Fe_2O_3+Al_2O_3$	0,3
CaO	10,0
MgO	2,3
MnO	—
K_2O	2,0
Na_2O	0,8
Cl	1,2
SO_3	5,3
Oxydabilité	3,01

a) Résultats interprétés.

SiO_2	1,4
$Fe_2O_3+Al_2O_3$	0,3
NaCl	1,5
Na_2SO_4	—
Na_2CO_3	—
KCl	0,6
K_2SO_4	3,0
K_2CO_3	—
$MgSO_4$	5,9
$MgCO_3$	0,7
$CaSO_4$	—
$CaCO_3$	17,8
MnO	—
résidu sec trouvé par addition	31,2
» » » pesée directe	30,0
différence	+ 1,2



Lac Schotten. Vue prise de la route sur l'amont.

22. **Lac Bianco**

(Berninapass, Grisons, feuille 522).

Il est situé à 2230 m. d'altitude et entouré de côtes abruptes, excepté à l'amont et à l'aval. L'affluent principal a formé un vaste delta sablonneux, avançant en pente douce dans le lac. Le bassin possède une longueur de 2 km. et une largeur de 0,5 km. Sa profondeur maxima est de 46,7 m., mais les variations de niveau sont minimes. Il existe un assez grand nombre d'affluents, parmi lesquels deux sur la rive gauche. L'un d'eux est l'émissaire du petit lago della Crocetta, l'autre prend naissance à la Pastura di Lagalb et atteint une longueur de 1 km. Le plus important a sa source au glacier de Cambrena, et se trouve à la rive droite. Deux émissaires quittent le lac, et après s'être réunis dans le lago della Scala, situé à proximité et à une altitude de 2235 m., vont former le Poschiavino. La vase n'a pas été prélevée et la transparence pas déterminée. La valeur de cette dernière ne doit cependant pas dépasser celle trouvée pour le lac d'Œschinen. La couleur de l'eau était de VI. Les recherches ont été faites le 23 juillet 1903, à 6 heures du soir, par un temps gris et un vent assez fort.

Le lac Bianco est un lac de col. Il est entièrement dans le cristallin, soit micaschistes et gneiss. Comme nous l'avons déjà vu pour le lac d'Œschinen, son manque de limpidité correspond avec son genre d'alimentation par glaciers et névés. La valeur de son résidu sec se rapproche de celle trouvée pour les lacs Merjelen, Grimsel, St-Gothard et Lucendro. Le lac Nero qui se trouve au nord-ouest, à une altitude de 2213 m. et à peu de distance du lac Bianco, ne semble pas avoir de communication avec celui-ci, qui présente une eau laiteuse tandis que celle du premier est noirâtre et limpide.

Analyse de l'eau (prélevée au rivage nord-est).

a) Résultats exprimés en milligr. par litre.

Résidu sec	18,6
SiO_2	2,3
$Fe_2O_3+Al_2O_3$	0,4
CaO	5,4
MgO	1,2
MnO	—
K_2O	0,9
Na_2O	1,0
Cl	—
SO_3	4,6
Oxydabilité	3,01

b) Résultats interprétés.

SiO_2	2,3
$Fe_2O_3+Al_2O_3$	0,4
NaCl	—
Na_2SO_4	2,2
Na_2CO_3	—
KCl	—
K_2SO_4	1,8
K_2CO_3	—
$MgSO_4$	3,6
$MgCO_3$	—
$CaSO_4$	0,2
$CaCO_3$	8,4
MnO	—
résidu sec trouvé par addition	18,9
» » » pesée directe	18,6
différence	+ 0,3

23. **Lac de Poschiavo**

(Berninapass, Grisons, feuille 524).

Il est situé à une altitude de 962 m. Ses rives sont abruptes, excepté à l'amont et à l'aval. La longueur du lac est de 2,5 km., la largeur de 1,0 km. et la profondeur maxima atteint 83,6 m. Les variations de niveau sont minimes. Trois affluents l'alimentent. L'un, ayant une longueur de 3 km., prend naissance dans le val del Termine et vient se déverser à la rive gauche. L'autre, d'une longueur de 3,5 km., a sa source dans un petit lac situé à une altitude de 2326 m. Le plus important d'entre eux est le Poschiavino, venant du lac Bianco. Sous ce nom, il quitte comme unique émissaire le lac de Poschiavo. La transparence ne dépassait pas 1,5 m. et la couleur était VIII. Quant à la température de la surface, elle était de 10,0° ; celle du fond n'a pas été déterminée. Les recherches ont été faites le 23 juillet 1903 à 1 heure, par un temps couvert et un peu de vent.

Le lac de Poschiavo est situé dans le cristallin, dans lequel sont inclus

des fragments de trias. C'est ce qui explique la forte teneur de son eau en sulfates et en magnésie. Ce lac présente la plus grande profondeur observée parmi ceux que nous avons examinés.

Analyse de l'eau (prélevée à la surface au milieu du lac).

a) Résultats exprimés en milligr. par litre.

Résidu sec	61,6
SiO_2	4,0
$Fe_2O_3+Al_2O_3$	0,3
CaO	19,0
MgO	6,0
MnO	—
K_2O	1,4
Na_2O	1,7
Cl	0,8
SO_3	13,8
Oxydabilité	2,87

b) Résultats interprétés.

SiO_2	4,0
$Fe_2O_3+Al_2O_3$	0,3
NaCl	1,3
Na_2SO_4	2,4
Na_2CO_3	—
KCl	—
K_2SO_4	2,7
K_2CO_3	—
$MgSO_4$	16,9
$MgCO_3$	0,8
$CaSO_4$	—
$CaCO_3$	33,8
MnO	—
résidu sec trouvé par addition	62,2
» » » pesée directe	61,6
différence	+ 0,6

25. **Lac de St-Moriz**

(Engadine, feuille 518).

Il se trouve à une altitude de 1767 m. Ses rives sont boisées et assez inclinées excepté à l'amont, où la vallée est large et plane. Sa longueur est de 1,5 km., sa largeur de 0,5 km. et sa profondeur maxima de 44,4 m. Les variations de niveau sont minimes. Son principal affluent est l'émissaire du lac Campfer, situé à 3 km. en amont. Outre celui-là, il en possède trois sur la rive gauche et trois sur la rive droite, d'une longueur égale, d'environ 2,5 km. Le plus court d'entre eux prend naissance au lac Statzer. Le seul

émissaire est l'Inn. Le sol sous-lacustre est formé d'une vase grise, fine. La transparence de l'eau était de 4 m. et la couleur V. La température atteignait à la surface 11,0° et au fond 6,5°. Les recherches ont été faites le 24 juillet 1903 à 9 heures du matin, par un temps pluvieux et calme.

Le lac de St-Moriz est presque entièrement dans le cristallin. Le trias cependant y apparaît en assez grande quantité. C'est ce qui explique la grande teneur de son eau en magnésie et surtout en sulfates ainsi que la forte proportion de chaux. Si la composition de son eau n'est pas la même que celle du lac Campfer, cela provient de ce que les gisements de trias sont plus abondants dans son bassin d'alimentation. Comme nous le verrons, sa transparence est plus forte que dans les trois autres lacs de l'Engadine. Ceci est facile à comprendre, attendu que l'eau, durant son parcours dans les lacs précédents, a eu le temps de déposer une grande partie des matières en suspension qui la troublait. Sa limpidité serait encore plus considérable, si les affluents amenant une eau trouble ne venaient pas la diminuer.

Analyse de l'eau (prélevée à la plus grande profondeur).

a) Résultats exprimés en milligr. par litre.

Résidu sec	89,2
SiO_2	3,4
$Fe_2O_3+Al_2O_3$	0,2
CaO	30,4
MgO	6,4
MnO	—
K_2O	1,7
Na_2O	1,3
Cl	traces
SO_3	23,5
Oxydabilité	4,67

b) Résultat interprétés.

SiO_2	3,4
$Fe_2O_3+Al_2O_3$	0,2
NaCl	—
Na_2SO_4	3,1
Na_2CO_3	—
KCl	—
K_2SO_4	3,2
K_2CO_3	—
$MgSO_4$	19,2
$MgCO_3$	—
$CaSO_4$	13,1
$CaCO_3$	44,5
MnO	—
résidu sec trouvé par addition	86,7
» » » pesée directe	89,2
différence	— 2,5

25. **Lac de Campfer**

(Engadine, feuille 518).

Il se trouve à une altitude de 1794 m. et possède des rives qui, au nord-ouest et sud-est, sont dominées par de fortes pentes. Vers l'aval et l'amont, elles font place à des plaines, ancien sol-lacustre, comblé maintenant par les alluvions. Le lac présente un étranglement très prononcé, tendant à le diviser en deux bassins distincts. Le plus grand a une longueur de 1,8 km. et une largeur de 0,4 km. Le bassin supérieur, qui est le plus petit, n'a que 0,5 km. de longueur. La profondeur maxima est de 34,1 m. et les variations de niveau sont minimes. Quatre affluents se jettent dans le lac. Leur longueur varie entre 0,6 km. pour l'un et 2 km. environ pour les trois autres. Outre cela, il est alimenté par les eaux du lac de Silvaplana, duquel il n'est séparé que par un fort étranglement des rives. L'émissaire est l'Inn, qui va se déverser dans le lac de St-Moriz. Un grand nombre d'affluents viennent s'y joindre. Le plus important d'entre eux a une longueur de 5 km. et prend naissance dans un petit lac situé à 2610 m. au haut de la Suvretta da St-Moriz. Le sol sous-lacustre constitue une vase fine, grise. La transparence atteignait 3,0 m. et la couleur était VI. Quant aux températures, celle de la surface était de 11,0° et celle du fond de 9,0°. Les recherches ont été faites le 24 juillet 1903 à midi, par un temps pluvieux et un peu de vent.

Le lac de Campfer est entièrement dans le cristallin. Il présente un résidu sec un peu moins considérable que celui du lac de St-Moriz, bien que sa composition soit identique. La même différence, quoique moins marquée, existe avec le lac de Silvaplana. Le premier cas ne peut s'expliquer que par l'influence des cours d'eau qui viennent se jeter dans l'émissaire du lac Campfer. Ceux-ci doivent amener une eau riche en matières dissoutes. Le second cas est l'inverse du premier ; le lac Silvaplana présente un résidu sec plus élevé que celui de Campfer.

Nous pouvons attribuer ce fait à l'action du torrent qui prend naissance au Julier. Il est très rapide, n'est en contact qu'avec des roches cristallines et ne peut donc amener qu'une eau excessivement pauvre en ma-

tières dissoutes. Il en résultera une dilution qui explique la constance dans la composition et en même temps la différence de poids du résidu sec de l'eau des deux lacs. La température anormalement élevée de l'eau du fond se comprend facilement, cette dernière ayant été prélevée à une profondeur de 18 m. seulement.

Analyse de l'eau (prélevée à 18 m. de profondeur).

a) Résultats exprimés en milligr. par litre.

Résidu sec	59,8
SiO_2	2,2
$Fe_2O_3+Al_2O_3$	0,3
CaO	20,8
MgO	4,7
MnO	—
K_2O	1,8
Na_2O	0,7
Cl	traces
SO_3	12,2
Oxydabilité	2,34

b) Résultats interprétés.

SiO_2	2,2
$Fe_2O_3+Al_2O_3$	0,3
NaCl	—
Na_2SO_4	1,7
Na_2CO_3	—
KCl	—
K_2SO_4	3,3
K_2CO_3	—
$MgSO_4$	14,1
$MgCO_3$	—
$CaSO_4$	0,5
$CaCO_3$	36,7
MnO	—
résidu sec trouvé par addition	58,8
» » » pesée directe	59,8
différence	— 1,0

26. **Lac de Silvaplana**

(Engadine, feuilles 518-521).

Il est situé à une altitude de 1794 m. Les rives gauche et droite sont abruptes et boisées. A l'aval et à l'amont, on aperçoit de vastes plaines, formées par les alluvions lacustres de deux torrents, l'Ova del Vallun et l'Ova da Fex. Le lac a une longueur de 3 km., une largeur de 1,4 km. et une profondeur maxima de 77,1 m. Les variations de niveau sont minimes.

Outre l'affluent principal qui lui vient du lac de Sils, il en possède deux autres d'une grande importance. L'un, l'Ova del Vallun, se déverse à l'aval et vient du val Julier. Il atteint 8,5 km. de longueur. L'autre prend naissance au glacier Vadret da Fex situé à 10 km. de l'embouchure et se déverse à l'amont. 7 affluents, d'une longueur variant entre 0,3 et 3 km., se présentent encore soit à la rive droite, soit à la rive gauche. Il n'existe aucun émissaire marqué, le lac étant en communication directe avec celui de Campfer. Le sol sous-lacustre est formé d'une vase impalpable et jaunâtre. La transparence atteignait 2,5 m., la couleur était VI et les températures de l'eau à la surface et au fond ne dépassaient pas 10,0° et 5,0°. Les recherches ont été faites le 24 juillet 1903, à 1 heure, par un temps pluvieux, avec vent.

Le lac de Silvaplana est situé dans le granit, la serpentine et les schistes chloriteux. Le trias y apparaît, mais y est peu abondant. Comme nous l'avons déjà dit, la composition de son eau ne diffère que peu de celle du lac Campfer. La transparence, qui pour l'eau des autres bassins de cette série varie entre trois et quatre mètres, n'atteint ici que 2,5 m. Ce fait est curieux. Nous l'attribuons à l'action des eaux fortement troublées qu'amène l'affluent ayant sa source au glacier Vadret da Fex. Nous observons en outre que l'eau peu limpide du lac de Silvaplana se clarifie successivement, et de plus en plus, pendant son séjour dans les lacs de Campfer et St-Moriz. Nous ne pouvons demander une meilleure preuve de la clarification et purification de l'eau dans les bassins lacustres. Quant au chlore, il n'apparaît qu'à partir de ce lac et se trouve en quantités semblables dans les deux suivants.

Lac de Silvaplana. Vue prise de l'étranglement séparant ce lac de celui de Campfer. Au fond, l'amont avec la plaine de Sils.

Analyse de l'eau (prélevée à la plus grande profondeur).

a) Résultats exprimés en milligr. par litre.

Résidu sec	67,8
SiO_2	2,6
$Fe_2O_3+Al_2O_3$	0,4
CaO	24,0
MgO	5,7
MnO	—
K_2O	1,4
Na_2O	1,1
Cl	traces
SO_3	13,2
Oxydabilité	2.63

b) Résultats interprétés.

SiO_2	2,6
$Fe_2O_2+Al_2O_2$	0,4
NaCl	—
Na_2SO_4	2,6
Na_2CO_3	—
KCl	—
K_2SO_4	2,6
K_2CO_3	—
$MgSO_4$	15,9
$MgCO_3$	0,8
$CaSO_4$	—
$CaCO_3$	42,7
MnO	—
résidu sec trouvé par addition	67,6
» » » pesée directe	67,8
différence	— 0,2

27. **Lac de Sils** [1]

(Engadine, feuilles 521-520).

Il est situé à une altitude de 1800 m. Ses rives sont abruptes excepté à l'aval, où se trouve la plaine de Sils. Il possède au milieu un fort étranglement, et son extrémité inférieure présente deux bras séparés par un promontoire rocheux. La longueur totale de son bassin atteint 5 km. et la largeur 1,4 km. La profondeur maxima est de 71,1 m. Les variations de niveau sont minimes. Etant le premier des quatre lacs de l'Engadine supérieure, il n'est alimenté que par des torrents et non par des émissaires de grand lacs. Il a treize affluents, parmi lesquels quatre de la rive gauche ont une longueur variant entre 2,5 et 1,5 km. L'un d'eux prend naissance dans le petit lac de Lunghino situé à 2480 m. d'altitude. Parmi ceux de la rive droite, le cours d'eau venant du glacier Vadret da Fedoz, situé à 6 km. est le plus important. L'émissaire du lac est l'Inn. Le sol sous-lacustre est formé

[1] Voir l'intéressante communication *Sur les lacs de la haute Engadine,* par A. Delebecque. (Académie des Sciences de Paris, décembre 1903.)

d'une vase impalpable et jaunâtre. La transparence de l'eau était de 3,5 m. et la couleur V. A la surface la température atteignait 11,5°. Les recherches ont été faites le 21 juillet 1903, à 5 heures du soir, par un temps pluvieux et un peu de vent.

Le lac de Sils est dans le gneiss et possède dans son bassin immédiat du trias peu abondant. La composition de son eau est identique à celle du lac Campfer et ne s'en distingue que par une moins grande proportion de sulfates.

Il est intéressant de constater la petite différence qui existe entre la couleur des quatre lacs de l'Engadine.

Analyse de l'eau (prélevée à la plus grande profondeur).

a) Résultats exprimés en milligr. par litre.

Résidu sec	58,5
SiO_2	1,8
$Fe_2O_3+Al_2O_3$	0,3
CaO	20,2
MgO	4,0
MnO	—
K_2O	1,8
Na_2O	1,3
Cl	—
SO_3	10,3
Oxydabilité	2,34

b) Résultats interprétés.

SiO_2	1,8
$Fe_2O_3Al_2O_3$	0,3
NaCl	—
Na_2SO_4	3,0
Na_2CO_3	—
KCl	—
K_2SO_4	3,4
K_2CO_3	—
$MgSO_4$	10,7
$MgCO_3$	0,9
$CaSO_4$	—
$CaCO_3$	36,0
MnO	—
résidu sec trouvé par addition	56,1
» » » pesée directe	58,5
différence	— 2,4

28. **Lac Ritom**

(sur Airolo, Tessin, feuille 503).

Il se trouve à une altitude de 1829 m. Ses rives sont formées de côtes assez inclinées, en partie boisées, en partie formées de pâturages. Le lac

possède une forme allongée, ayant 2 km. de long sur 0,5 km. de large. La profondeur maxima est de 44,6 m.[1] Les variations de niveau sont minimes. Trois affluents importants l'alimentent. L'un est l'émissaire du lac Tom, situé à 0,5 km. et à une altitude de 2023 m., l'autre vient du lac Cadagno, situé à 1 km. et à une altitude de 1921 m., et le troisième, principal affluent, la Murinascia, atteint une longueur de 6 km. et prend naissance dans les vallées de Piora et Termine. Outre cela, le lac reçoit l'eau de nombreux petits ruisseaux alimentés par des sources. Celles-ci sont réparties un peu partout sur les rives et sont en partie ferrugineuses. Il n'existe qu'un seul émissaire superficiel, la Foss, qui, après un parcours de 2 km., se jette dans le Tessin. A proximité des rives et jusqu'à une profondeur de 13 m., le sol sous-lacustre est constitué par du sable ou par une vase fine d'une couleur gris-brun. Au-dessous de cette limite, nous trouvons une vase impalpable d'un brun-noirâtre. Elle sent fortement l'hydrogène sulfuré et semble être en partie formée d'algues de la même teinte. La transparence atteignait 5 m. et la couleur était VI. Quant aux températures, celle de la surface était de 11,0° et celle du fond de 6,0°. Les recherches ont été faites le 26 juillet 1903 à 11 heures, par un temps calme, beau et coups de vent par instants.

Le lac Ritom est situé dans un synclinal des schistes lustrés et du trias. Il est dominé par des falaises cristallines. Ce lac présente des particularités fort singulières qui, à l'exception de celles observées aux lacs de la Girotte (H^te^-Savoie)[2] et en partie à celui de Cadagno, ne se retrouvent chez aucun autre. Les recherches faites en 1903 nous ont révélé en effet l'existence de deux nappes d'eau bien distinctes et superposées. Depuis la surface jusqu'à une profondeur de 13 m. environ, l'eau ne présentait aucun caractère particulier. Au contraire, celle qui avait été prélevée dans des couches plus profondes avait l'odeur et le goût typiques des eaux sulfureuses et, en versant le contenu de la bouteille de Mill dans un verre, une effervescense se produisit. Elle était due au dégagement de l'hydrogène sulfuré. Les analyses faites peu de temps après les recherches nous démontrèrent qu'un litre de cette eau renfermait 15,9 milligr. d'H_2S et que les autres substances s'y trouvaient dissoutes, en quantités extraordinairement importantes.

[1] Trouvé par M. A. Delebecque.

[2] Voir Delebecque, *Les lacs français*.

Analyse de l'eau (prélevée à la plus grande profondeur le 26 juillet 1903).

a) Résultats exprimés en milligr. par litre.

Résidu sec	2365,3
SiO_2	10,0
$Fe_2O_3+Al_2O_3$	1,2
CaO	737,0
MgO	196,2
MnO	—
K_2O	4,2
Na_2O	2,7
Cl	—
SO_3	1376,7

b) Résultats interprétés.

SiO_2	10,0
$Fe_2O_3+Al_2O_3$	1,2
NaCl	—
Na_2SO_4	6,1
Na_2CO_3	—
KCl	—
K_2SO_4	7,8
K_2CO_3	—
$MgSO_4$	588,6
$MgCO_3$	—
$CaSO_4$	1668,0
$CaCO_2$	90,9
MnO	—
résidu sec trouvé par addition	2372,6
» » » pesée directe	2365,3
différence	+ 7,3

Oxydabilité 5,36 (déterminée après élimination de l'H_2S).
H_2S 15,9 mgr. par litre.

Ces particularités frappantes nous engagèrent à poursuivre ces recherches. En 1904, le 3 juillet, je me rendais au lac Ritom accompagné de M. Delebecque, que ce cas intéressait vivement. Nous fîmes d'abord des sondages minutieux, de manière à déterminer la forme approximative du bassin sous-lacustre. Nous fixâmes ensuite avec précision les températures des différentes couches à l'endroit de la plus grande profondeur et, pour compléter cette étude, nous prélevâmes de l'eau du fond, de la surface, de l'émissaire et des trois principaux affluents du lac. Nous examinâmes en même temps de plus près les lacs de Tom et Cadagno qui alimentent celui de Ritom. Les résultats de cet examen et des analyses effectuées en toute hâte, immédiatement après l'arrivée des échantillons (juillet 1904), donnèrent de précieux renseignements sur la nature de ce dernier.

Analyse des eaux prélevées en 1904 (faites quelques jours après les avoir prélevées).

Valeur du résidu sec (déterminations faites sur 100 cc.).

1° Eau de la surface 140,0 milligr. par litre.

2° » du fond 2406,0 milligr. par litre.

3° Eau de l'émissaire (à sa sortie du lac) 128,0 milligr. par litre.
4° » de la Murinascia (à son arrivée au lac Ritom) 44,0 millig. par litre.
5° » de l'affluent venant du lac Tom (à son arrivée au lac Ritom) 64,0 milligr. par litre.
6° » de l'affluent venant du lac de Cadagno (à son arrivée au lac de Ritom) 308,0 milligr. par litre.
7° » du lac Tom (du fond) 46,0 milligr. par litre.
8° » » » Cadagno (surface) 92,0. » » »

La détermination de l'hydrogène sulfuré, exécutée sur 200 cc. immédiatement après avoir prélevé l'*eau du fond*, a donné 17,4 milligr. par litre, ce qui correspond sensiblement avec les données de l'année 1903.

Des déterminations plus complètes et plus précises ont été faites sur l'eau des lacs Ritom, Tom et Cadagno quelques mois après l'avoir prélevée. Elles n'ont fait que confirmer les données précédentes. Ayant porté sur des quantités d'eau plus considérables, elles sont cependant plus exactes que celles faites en juillet.

Voici les résultats des analyses complètes effectuées sur l'eau de la surface et celle de l'émissaire du lac Ritom, 3 mois après avoir prélevé l'eau.

Eau de la surface (prélevée le 3 juillet 1904).

a) Résultats exprimés en milligr. par litre.

Résidu sec	122,7
SiO_2	2,8
$Fe_2O_2+Al_2O_3$	traces
CaO	37,9
MgO	11,1
MnO	—
K_2O	2,4
Na_2O	2,0
Cl	—
SO_2	48,1
Oxydabilité	3,44
$H_2S = O$	

b) Résultats interprétés.

SiO_2	2,8
$Fe_2O_3+Al_2O_3$	traces
NaCl	—
Na_2SO_4	4,6
Na_2CO_2	—
KCl	—
K_2SO_4	4,4
K_2CO_3	—
$MgSO_4$	33,3
$MgCO_3$	—
$CaSO_4$	36,6
$CaCO_3$	40,8
MnO	—
résidu sec trouvé par addition	122,5
» » » pesée directe	122,7
différence	— 0,2

Eau de l'émissaire (prélevée à la sortie du lac le 3 juillet 1904).

a) Résultats exprimés en milligr. par litre.

Résidu sec	128,8	
SiO_2	2,2	
$Fe_2O_3+Al_2O_3$	traces	$H_2S=O$
CaO	38,8	
MgO	12,1	
MnO		
K_2O	2,0	
Na_2O	1,7	
Cl	—	
SO_4	53,3	
Oxydabilité	3,16	
$H_2S=O$		

b) Résultats interprétés.

SiO_2	2,2
$Fe_2O_2+Al_2O_2$	traces
NaCl	—
Na_2SO_4	4,0
Na_2CO_3	—
KCl	—
K_2SO_4	3,7
K_2CO_3	—
$MgSO_4$	36,3
$MgCO_3$	—
$CaSO_4$	43,2
$CaSO_3$	37,6
MnO	
résidu sec trouvé par addition	127,0
» » » pesée directe	128,8
différence	— 1,8

Les données trouvées par les observations faites sur le lac le 3 juillet 1904 sont :

Pour la couleur V-VI.
» » transparence 6,5 m.
» » température du fond 6,6°.
» » » de la surface 13,4°.

Les recherches ont été faites par un temps gris.

En examinant ces données de plus près, nous pouvons en tirer les conclusions suivantes qui sont d'une grande importance.

1° Le lac Ritom est formé de deux couches d'eau bien différentes, séparées nettement l'une de l'autre. De la surface à une profondeur de 13 m. nous trouvons une eau relativement peu chargée de matières en solution. *Elle est la résultante d'un mélange intégral de l'eau des différents affluents superficiels.*

En effet, nous avons :

Rés. sec de l'eau de la Murinascia	44,0	milligr. par litre.
» » » » » l'affluent venant du lac Tom	64,0	» » »
» » » » » » » » lac Cadagno	308,0	» » »
somme	416,0 : 3 = 138,7	(moyenne).

Rés. sec de l'eau de la surface du lac Ritom 140,0 milligr. par litre.

Ceci nous prouve que l'*eau du fond n'exerce aucune action sur celle des couches supérieures ni sur celle de l'émissaire* qui possède une composition presque identique à celle de la surface. Il y a donc séparation complète entre les deux nappes d'eau.

A en juger par la situation et l'importance des formations triasiques qui se trouvent dans son bassin et à proximité du lac Ritom, l'eau de la surface devrait présenter un résidu sec bien plus élevé. Nous attribuons cette pauvreté relative à l'action diluante de ses principaux affluents, venant du cristallin. Les sulfates cependant, s'y trouvent en assez grande quantité et indiquent la présence du trias.

2° A partir d'une profondeur de 13 mètres, l'eau possède des caractères tout à fait particuliers. Elle est extraordinairement minéralisée et se distingue par sa grande teneur en hydrogène sulfuré. Nous ne pouvons expliquer ce fait qu'en l'attribuant à l'action des eaux souterraines.

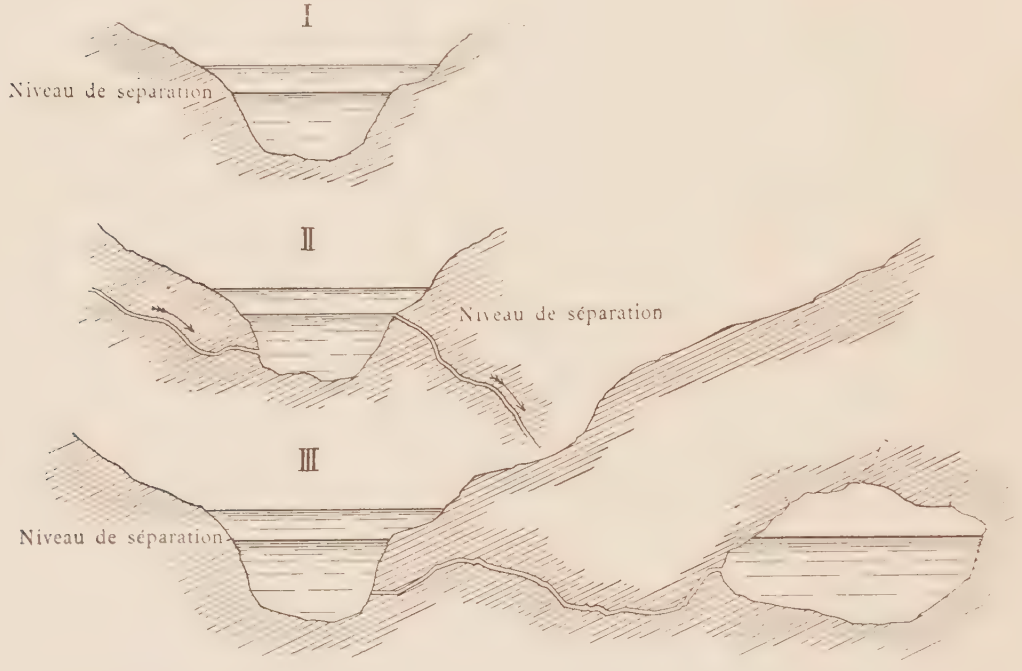
Comme nous l'avons déjà dit, l'eau des couches inférieures ne trouve aucune issue dans l'émissaire superficiel. Comment expliquer alors le niveau de séparation ?

Nous pouvons admettre trois cas :

Dans le premier, nous pouvons supposer que l'eau se sature au sein du lac même par la dissolution des roches formant le bassin lacustre et que cette dissolution persiste jusqu'à saturation complète. Ce fait est plutôt problématique, attendu que les parois du bassin sous-lacustre sont protégées du contact de l'eau par la vase qui les recouvre, il n'expliquerait aucunement le niveau constant.

Le second cas admettrait la présence d'une source sous-lacustre fortement minéralisée et abondante. Celle-ci alimenterait les couches inférieures qui trouveraient un écoulement souterrain à la profondeur de 13 m. Cette théorie expliquerait très bien le niveau de séparation et la constance des températures des couches saturées.

Quant au troisième cas, il se base sur la théorie des vases communiquants. A quelque distance du lac se trouverait une vaste cavité formée par l'action dissolvante de l'eau sur un terrain gypseux. Cette cavité remplie de l'eau saturée communiquerait avec le bassin sous-lacustre et maintiendrait ainsi le niveau constant. Cette idée semble être la plus logique.



Sur ces esquisses comme dans celle représentant la coupe du lac Merjelen la profondeur a été exagérée par rapport aux dimensions horizontales afin de rendre les dessins plus explicites.

Quant à la forte proportion d'hydrogène sulfuré que nous trouvons en solution dans l'eau du fond du lac Ritom, elle s'explique par la décomposition des sulfates et notamment du gypse, sous l'action de certains micro-organismes. Le $CaSO_4$ serait tranformé par ces derniers en CaS. Celui-ci, en présence de certains acides, tels que l'acide carbonique, formerait de l'hydrogène sulfuré.

Outre les particularités que nous venons de signaler, le lac Ritom présente de singulières anomalies dans la répartition des températures.

Des mesures minutieuses faites avec M. Delebecque, au moyen du thermomètre Negretti et Zambra, nous ont donné les résultats suivants :

Mètres de Profondeur.	Températures.	
Surface	13,4	Températures prises suivant une ligne verticale à l'endroit de la plus grande profondeur.
5	9,6	
7	8,7	
9	6,1	
10	5,4	
10,5	5,1	
11	5,1	
12	5,2	
15	6,3	
18	6,6	
19	6,6	
20	6,8 (mesurée 2 fois)	
21	6,6	
22	6,6	
25	6,6	
30	6,6	
40	6,6	
Fond	6,6	

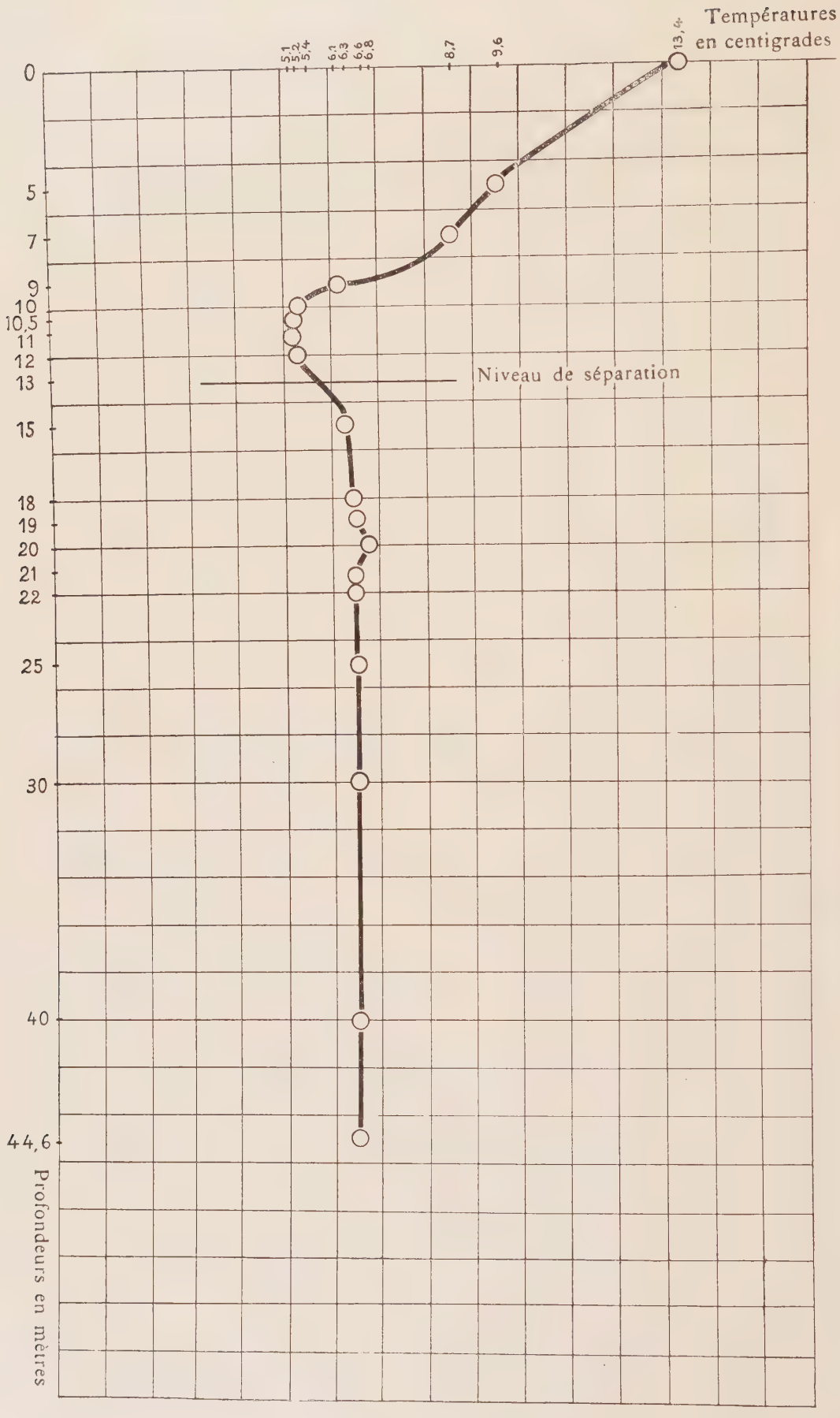
Ces résultats ont fait le sujet d'une communication très intéressante, présentée par M. A. Delebecque à l'Académie des sciences de Paris. Comme nous le voyons, contrairement à ce que nous observons généralement dans les lacs [1], les températures du lac Ritom ne varient ni graduellement, ni régulièrement de la surface au fond [2]. La température, qui est de 13,4° à la surface, diminue assez rapidement jusqu'à la profondeur de 11 m., où elle passe par un minimum de 5,1°. De là, elle s'élève graduellement et atteint à 18 m. la valeur de 6,6°. Celle-ci reste invariable jusqu'au fond et ne présente qu'un petit écart inexplicable, quoique bien déterminé, à une profondeur de 20 m.

Ces variations ne peuvent être attribuées qu'au fait que les densités des eaux de la surface et du fond ne sont pas les mêmes. En effet, les différentes couches d'eau d'un lac se groupent toujours suivant leur poids spécifique. Nous savons aussi que ce dernier change avec la température et la quantité de matières dissoutes.

[1] Voir Delebecque, *Les lacs français*, page 135.

[2] Le seul cas connu, analogue à celui-ci, existe pour le lac de la Girotte.

Voici la *courbe* qui résulte de ces données.



Courbe des températures du lac Ritom.

Connaissant ces principes, nous prévoyons que, même si l'eau relativement pure des couches supérieures atteignait la température correspondante à sa plus grande densité (4,0° C. pour H_2O), elle n'arriverait pas au poids spécifique des couches inférieures fortement minéralisées et plus chaudes. Il n'y a donc rien d'étonnant à ce que les températures possèdent leur minimum au-dessus du niveau de séparation des deux eaux et atteignent une valeur plus élevée au-dessous. (Ce fait se trouve du reste confirmé par les recherches faites par M. Delebecque sur le lac de la Girotte.)

Quant à la constance des températures des couches saturées, nous pouvons l'expliquer de deux manières différentes :

1° En admettant le 3^{me} cas de l'alimentation des couches inférieures. Celles-ci, par leur contact avec l'eau contenue dans la cavité, arriveraient à maintenir la température constante.

2° En admettant le 2^{me} cas de l'alimentation des couches inférieures. La source sous-lacustre amènerait une eau possédant une température de 6,6° qui maintiendrait l'eau du fond dans les mêmes conditions thermiques.

29. **Lac Tom**

(sur Airolo, Tessin, feuille 503).

Situé à une altitude de 2023 m., à peu de distance du lac Ritom, il est dominé au nord et nord-est par des falaises cristallines. Les rives à l'est sont fortement inclinées et formées de prairies ; à l'ouest, elles sont presque planes. Le lac a une forme à peu près circulaire et présente une longueur de 500 m. et une largeur de 300 m. environ. La profondeur maxima est de 11,5 m. et les variations de niveau sont considérables. Son seul affluent important prend naissance dans deux très petits lacs, situés au nord dans le massif dominant, à une distance de 1 km. environ et à 300 m. au-dessus du lac. L'unique émissaire est superficiel à basses eaux et sous-lacustre quand le niveau du lac est élevé. Il s'engouffre dans une fissure du barrage, ne réapparaît qu'après un trajet souterrain de 200 m. et va se jeter ensuite dans le lac Ritom. Le sol sous-lacustre est formé d'une vase fine gris-brun. Contrairement à ce que nous observons aux lacs voisins Ritom et Cada-

gno, elle ne sent *pas* l'hydrogène sulfuré. L'eau atteignait une transparence de 8,0 m. et sa couleur était V. La température de l'eau de la surface était de 12,6° et celle du fond 7,2° [1]. Les recherches ont été faites le 5 juillet 1904, à 9 heures du matin, par un temps clair et beau.

Le bassin du lac Tom est en partie creusé dans le Trias (corgnieules et schistes lustrés) et en partie dans le cristallin. L'affluent venant des falaises cristallines ne peut apporter une eau fortement chargée de matières dissoutes. Nous ne pouvons donc attribuer la teneur relativement élevée de l'eau du lac en sulfates, ainsi que son résidu sec assez considérable, qu'à l'action des eaux de ruissellement venant du trias. La présence d'une source sous lacustre fortement minéralisée n'est pas prouvée.

Analyse de l'eau (prélevée à la plus grande profondeur).

a) Résultats exprimés en milligr. par litre.

Résidu sec	52,3
SiO_2	5,7
$Fe_2O_3+Al_2O_3$	
CaO	15,6
MgO	6,3
MnO	
K_2O	3,5
Na_2O	2,5
Cl	—
SO_3	6,2
Oxydabilité	3,73

b) Résultats interprétés.

SiO_2	5,7
$Fe_2O_3+Al_2O_3$	
NaCl	—
Na_2SO_4	5,7
Na_2CO_3	—
KCl	—
K_2SO_4	6,6
K_2CO_3	—
$MgSO_4$	—
$MgCO_3$	13,2
$CaSO_4$	—
$CaCO_3$	27,8
MnO	
résidu sec trouvé par addition	59,0
» » » pesée directe	52,3
différence	+ 6,7

30. **Lac Cadagno**

(sur Airolo, Tessin, feuille 503).

Il est situé à une altitude de 1921 m. sur un plateau et est dominé au nord par des falaises. Ses rives sont formées de pâturages en pentes, laissant

[1] Trouvé par M. A. Delebecque.

à l'aval une petite plaine. Le bassin est ovale. Il a environ 700 m. de long sur 300 m. de large et possède une profondeur maxima de 18,0 m. Les variations de niveau sont minimes. Le lac est alimenté par un seul affluent, qui se forme par la jonction de deux torrents. L'un d'eux prend naissance dans un petit lac qui se trouve sur un plateau du massif cristallin, à une altitude de 2859 m. et à une distance d'environ 1 km. L'autre vient des falaises dominant le lac. L'unique émissaire est superficiel et va se jeter, après un parcours d'à peu près 1 km., dans le lac Ritom. Le sol sous-lacustre est formé d'une vase fine, brune, *sentant l'hydrogène sulfuré*. La transparence atteignait 8,5 m., la couleur était V et les températures de l'eau à la surface et au fond étaient de 15,6° et 5,6°[1]. Les recherches ont été faites le 4 juillet 1904 à 3 heures, par un beau temps, précédé de pluie.

Le lac Cadagno est situé presqu'entièrement dans les formations triasiques. Les affluents visibles viennent cependant des terrains silicatés. Malgré cela, nous apercevons distinctement l'influence du trias par l'analyse de l'eau de la surface, qui nous révèle de très fortes proportions de sulfates par rapport à la valeur du résidu sec. La particularité de ce lac est de présenter au fond une eau bien différente de celle des couches supérieures. Dans les couches inférieures nous trouvons 1,5 milligr. d'H_2S par litre et le résidu sec de cette eau (d'après l'analyse de l'eau de l'émissaire) doit selon toute probabilité posséder une valeur sensiblement rapprochée de 308,0 milligr. par litre[2]. En effet il semble peu probable que l'eau de la surface du lac pendant son parcours dans l'émissaire arrive à se saturer d'une manière aussi complète à moins de se mélanger à l'eau de sources fortement minéralisées dont la présence n'est aucunement prouvée. Nous avons donc ici, bien que moins prononcées, les mêmes conditions que dans le lac Ritom. Il semble pourtant que la séparation des deux nappes d'eau n'est pas aussi nette que chez ce dernier. L'eau du fond doit donc trouver une issue dans l'émissaire superficiel du lac. Nous prévoyons, d'après les caractères que nous venons de signaler, que les couches profondes du lac Cadagno doivent recevoir l'eau de puissantes sources, venant du trias et fortement minéralisées. Chez lui, comme au lac Tom, nous sommes en présence d'une alimentation mixte à la fois silicatée et calcaire. Il serait fort intéressant de faire des études approfondies sur ce lac si curieux.

[1] Trouvé par M. A. Delebecque.

[2] Il ne nous a malheureusement pas été possible de prélever une quantité de l'eau du fond suffisante pour en faire l'analyse complète et nous avons dû nous borner à déterminer l'H_2S.

Analyse de l'eau (prélevée à la surface).

a) Résultats exprimés en milligr. par litre.		*b)* Résultats interprétés.	
Résidu sec	87,6	SiO_2	2,6
SiO_2	2,6	$Fe_2O_3+Al_2O_3$	0,3
$Fe_2O_3+Al_2O_3$	0,3	NaCl	—
CaO	24,2	Na_2SO_4	4,3
MgO	10,8	Na_2CO_3	—
MnO		KCl	—
K_2O	2,9	K_2SO_4	5,4
Na_2O	1,9	K_2CO_3	—
Cl	—	$MgSO_4$	32,4
SO_3	29,3	$MgCO_3$	—
Oxydabilité	4,02	$CaSO_4$	5,1
		$CaCO_3$	39,3
		MnO	—
		Résidu sec trouvé par addition	89,4
		» » » pesée directe	87,6
		différence +	1,8

Eau du fond $H_2S = 1,5$ mgr. par litre.

31. **Lacs du St-Gothard**

Tessin, feuille 491).

Ils sont situés aux altitudes de 2093 m., 2091 m. et 2087 m. près du sommet du col du St-Gothard. Ils sont entourés de pâturages et constituent trois petits lacs se déversant l'un dans l'autre. Le plus grand d'entre eux a une forme circulaire, et possède une largeur de 200 m. environ. Les deux autres sont beaucoup plus petits. La profondeur maxima du grand bassin est de 16,6 m. Les variations de niveau sont faibles. Le seul affluent vient d'un tout petit lac, se trouvant à une distance de 50 m. et à 12 m. au-dessus du niveau du lac. L'émissaire est superficiel et donne naissance à la Tremola, qui va se jeter, près Airolo, dans le Tessin.

Le terrain sous-lacustre et la transparence n'ont pas été examinés. Quant à la couleur de l'eau du grand lac, elle était V. Les températures à la surface et au fond étaient de 11,9° et 4,6°. Les recherches ont été faites le 6 juillet 1904, à 2 heures, par un temps clair et froid [1].

[1] Observations faites par M. A. Delebecque.

Le grand lac est caractérisé par son résidu sec, extraordinairement faible. Ceci correspond avec son emplacement et son alimentation qui se fait surtout par des eaux de ruissellement. Il est entièrement situé dans le gneiss.

Analyse de l'eau (prélevée à la surface du grand lac).

a) Résultats exprimés en milligr. par litre.

Résidu sec	4,3
SiO_2	0,8
$Fe_2O_3+Al_2O_3$	traces
CaO	1,0
MgO	0,87
MnO	
K_2O	0,82
Na_2O	1,1
Cl	—
SO_3	0,48
Oxydabilité	2,58

b) Résultats interprétés.

SiO_2	0,8
$Fe_2O_3+Al_2O_3$	traces
NaCl	—
Na_2SO_4	0,85
Na_2CO_3	1,28
KCl	—
K_2SO_4	—
K_2CO_3	1,30
$MgSO_4$	—
$MgCO_3$	0,15
$CaSO_4$	—
$CaCO_3$	1,78
MnO	
résidu sec trouvé par addition	6,16
» » » pesée directe	4,30
différence	+ 1,86

32. **Lac Lucendro**

(Tessin, feuille 491).

Situé à une altitude de 2077 m., tout près du col du St-Gothard, dans un vallon latéral et encaissé entre des rives formées de rochers et pâturages, le lac présente une longueur de 800 m. et une largeur de 300 m. environ. Sa profondeur maxima atteint 36,2 m., mais les variations de niveau sont minimes. Parmi les 5 affluents, 3 petits se déversent à la rive droite. Deux autres, prenant naissance dans deux petits lacs situés à 1 km. et 1,5 km. de distance, aboutissent à la rive gauche. Le principal a sa source dans les névés du Piz Lucendro et ceux du Iwerberhorn et possède une longueur d'environ 3 km. Le seul émissaire est la Reuss. Le sol sous-lacustre n'a pas été examiné. La transparence atteignait 8 m. et la couleur était IV. A la surface l'eau avait une température de 4,4° seulement et celle du

fond 4,0°. Les recherches ont été faites le 6 juillet 1904 à 11 heures par un temps couvert, et avec du vent [1].

Le lac Lucendro se déverse vers le nord, tandis que celui du St-Gothard, se trouvant à 1,5 km. de distance, se déverse sur le versant sud, du massif des Alpes. L'un donne naissance à la Reuss, qui va se réunir au Rhin, tandis que l'autre alimente le Tessin. Nous attribuons la pauvreté excessive du lac de Lucendro en matières dissoutes à son bassin d'alimentation entièrement granitique et à l'eau provenant presque uniquement de la fonte des neiges. C'est le seul lac qui ne présente que des traces de sulfates.

Analyse de l'eau (prélevée à la surface).

a) Résultats exprimés en milligr. par litre.

Résidu sec	6,8
SiO_2	0,9
$Fe_2O_3+Al_2O_3$	—
CaO	1,8
MgO	0,18
MnO	
K_2O	1,07
Na_2O	1,7
Cl	—
SO_3	traces
Oxydabilité	3,44

b) Résutats interprétés.

SiO_2	0,9
$Fe_2O_3+Al_2O_3$	—
NaCl	—
Na_2SO_4	—
N_2aCO_3	2,91
KCl	—
K_2SO_4	—
K_2CO_3	1,57
$MgSO_4$	—
$MgCO_3$	0,38
$CaSO_4$	—
$CaCO_3$	3,20
MnO	
résidu sec trouvé par addition	8,96
» » » pesée directe	6,80
différence	+ 2,16

33. **Lac de l'Oberalp**

(Uri, feuille 411).

Il est situé à une altitude de 2028 m. La rive droite et la rive gauche sont formées de pâturages. A l'amont et à l'aval se trouvent de vastes étendues marécageuses. Sa longueur est de 1,2 km., tandis que sa largeur ne dépasse pas 0,2 km. Son bassin est divisé en deux parties distinctes dont la supérieure a une profondeur maxima de 9,5 m. et l'autre 7,0 m. Ces deux

[1] Observations faites par M. A Delebecque.

bassins sont séparés par un barrage médian sous-lacustre, qui se trouve à 3,8 m. sous la surface du lac. Les variations de niveau sont faibles. Il existe plusieurs affluents, parmi lesquels le plus important a 1,5 km. de long. Les autres prennent naissance dans un plateau marécageux, qui sert en même temps de source au Vorder-Rhein. L'unique émissaire est superficiel, c'est l'Oberalpreuss, qui va rejoindre la Reuss. Le sol sous-lacustre n'a pas été examiné. La transparence était de 7,5 m. et la couleur VI. A la surface l'eau avait 13,0°, tandis qu'au fond la température était de 7,5°. Les recherches ont été faites le 8 juillet 1904, à 1 heure par un temps clair et beau[1]. Le lac de l'Oberalp est un lac de col. Il est creusé dans les éboulis ou moraines provenant des schistes. Le résidu sec, relativement peu considérable, correspond avec les caractères et l'emplacement du lac.

Analyse de l'eau (prélevée à la surface).

a) Résultats exprimés en milligr. par litre.

Résidu sec	24,9
$Fe_2O_3+Al_2O_3$	1,6
SiO_2	traces
CaO	10,0
MgO	0,7
MnO	
K_2O	1,8
Na_2O	1,6
Cl	—
SO_3	4,5
Oxydabilité	3,16

b) Résultats interprétés.

SiO_2	1,6
$Fe_2O_3+Al_2O_3$	traces
NaCl	—
Na_2SO_4	3,7
Na_2CO_3	—
KCl	—
K_2SO_4	3,3
K_2CO_3	—
$MgSO_4$	1,4
$MgCO_3$	0,5
$CaSO_4$	—
$CaCO_3$	17,8
MnO	—
résidu sec trouvé par addition	28,3
» » » pesée directe	24,9
différence	+ 3,4

Il nous a semblé utile de résumer dans un tableau les résultats obtenus pour chaque lac. Les données comprendront :

Le nom du lac, sa situation, la feuille où il se trouve dans l'Atlas Siegfried, l'altitude de son niveau, la profondeur maxima, la transparence de son eau, ainsi que sa couleur, la température à la surface et au fond, la date à laquelle les recherches ont été effectuées, le temps qu'il faisait lors de ces

[1] Observations faites par M. A. Delebecque.

recherches et le lieu de la prise, c'est-à-dire l'endroit où l'eau a été prélevée. Nous mentionnerons ensuite, sous leur forme conventionnelle, les résultats obtenus par l'analyse chimique de l'eau, exprimés en milligrammes par litre. Nous donnerons au bas du tableau les explications secondaires pouvant être d'une certaine utilité.

Nous espérons avoir trouvé, de cette manière, le moyen de comparer facilement et rapidement les différentes données[1].

Un autre tableau résumera les valeurs trouvées par l'interprétation des résultats[2].

Ayant examiné les caractères spécifiques des lacs, il est intéressant de savoir à quel bassin appartient chacun d'eux. Dans ce but nous classons les différents cours d'eau en 5 bassins principaux. Au nord du massif des Alpes, nous trouvons ceux du Rhin et du Rhône, tandis que, sur le versant sud, nous trouvons ceux du Tessin, de l'Inn et de l'Adda. Celui du Rhin est de beaucoup le plus important, car il réunit ceux de l'Aar, de la Reuss, de la Limmat, de la Thur et de l'Albula. C'est dans son rayon que se trouvent le plus grand nombre de nos lacs. A l'exception de trois qui appartiennent au bassin du Rhône, nous y trouvons ceux de Grimsel, Amsoldingen, Engstlen, (Bleu?), Oeschinen, Noir, Lauenen, Arnen, (Melch?), Lucendro, Oberalp, Lungern, Murg, Klönthal, Greppelen, Seealp, Schotten, Davos, Schönenboden et Fälen, qui tous sont situés sur le versant nord du massif des Alpes. Les lacs Bleu et Melch ayant tous deux des émissaires souterrains, nous ne pouvons nous prononcer avec une certitude absolue quoique leur classement tel que nous venons de l'indiquer soit plus que probable. Dans le bassin du Rhône nous avons les lacs Taney, Champex et Merjelen.

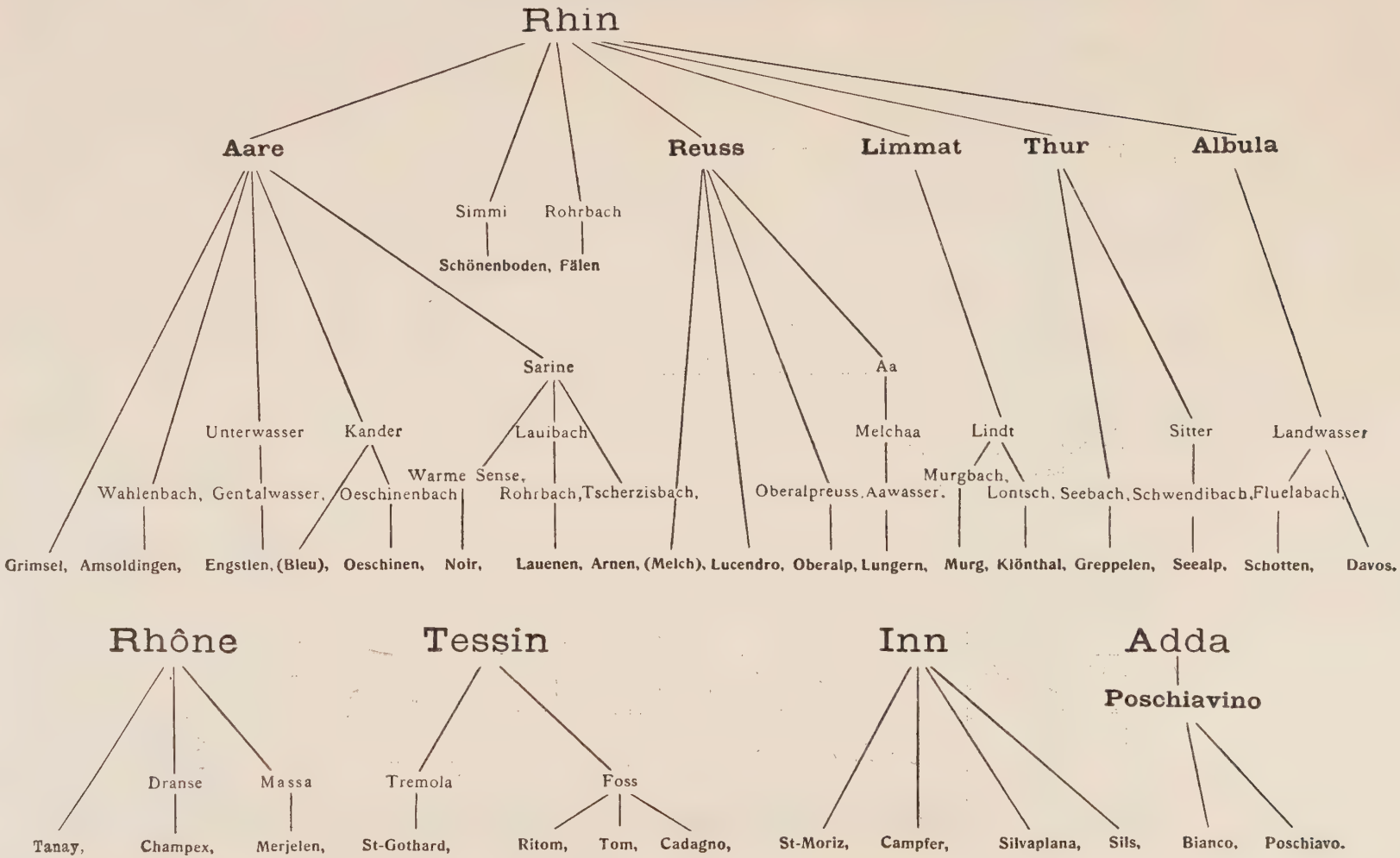
Celui du Tessin comprend ceux de Ritom, Tom, Cadagno et St-Gothard. L'Inn reçoit l'eau des lacs de l'Engadine, c'est-à-dire ceux de St-Moriz, Campfer, Silvaplana et Sils. Enfin, ceux de Poschiavo et Bianco se trouvent dans le bassin de l'Adda.

Comme il est intéressant de suivre l'émissaire d'un lac jusqu'à l'endroit où il atteint la principale rivière du bassin correspondant, nous avons fait dans ce but un tableau, nous donnant chaque lac avec le parcours total de son eau. Par son examen, on se rendra facilement compte de la répartition des lacs que nous avons mentionnés, sur les différents cours d'eau et principaux bassins[3].

[1] Voir *Troisième tableau.*
[2] Voir *Second tableau.*
[3] Voir *Premier tableau.*

PREMIER TABLEAU

Répartition des lacs examinés sur les différents cours d'eau et principaux bassins.



SECONI

Résultats exprimés en substances probables

(Contorle de

COMBINAISONS	Tauey sur Vouvry (Valais)	Champex sur Orsières (Valais)	Noir près Plaffeyen (Fribourg)	Amsoldingen près Thoune (Berne)	Lauenen près Saanen (Berne)	Arnen près Saanen (Berne)	Eschinen sur Kandersteg (Berne)	Bleu près Fruttigen (Berne)	Merjelen sur Fiesch (Valais)	Grimsel Ct. Berne	Engstlen sur Innertkirchen (Berne)	Melch s. Melchtal (Unterwalden)	Lungern (Unterwalden)	Klœnthal (sur Glaris)	Murg (Ct. St. Gallen)	Greppelen (Toggenbourg)	Schönenboden (Toggenbourg)
SiO_2	3,0	3,9	1,9	6,0	3,2	4,5	2,0	4,2	1,4	1,1	3,0	2,4	4,5	3,0	8,5	1,1	1,
$Fe_2O_3 + Al_2O_3$	1,2	0,4	1,3	0.5	0,4	0,5	traces	0,6	0,8	0,4	0,3	0,6	0,2	0,2	0,3	0,5	0,
NaCl	1,7	4,6	2,0	5,8	0,5	—	1,5	—	—	—	—	—	2,0	—	—	—	0,
Na_2SO_4	1,1	1,6	2,9	4,0	4,6	7,7	—	3,8	3,1	2,6	0,9	3.3	6,2	4,9	3,3	2,0	2,
Na_2CO_3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
KCl	—	—	—	—	—	—	3,6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
K_2SO_4	2,1	2,5	2,3	4,1	2,7	—	0,7	2,8	4,4	2,0	2,3	2,3	3,3	2,1	1,8	1,9	4,
K_2CO_3	—	—	—	—	—	2,4	—	—	0,3	—	—	—	—	—	—	—	—
$MgSO_4$	6,0	1,1	30,3	2,0	39,6	—	11,2	30,5	—	0,9	9,3	3,8	18,9	11,9	21,9	—	—
$MgCO_3$	4,6	0,5	—	10,8	—	7,3	2,5	15,8	0,8	—	—	1,8	10.3	7,0	—	2,9	6,
$CaSO_4$	—	—	106,3	—	140,9	—	—	—	—	—	8,2	—	—	—	17,2	—	—
$CaCO_3$	107,0	13,4	120,0	165,0	105,0	127,3	66,6	118,9	6,1	3,9	76,3	72,6	153,1	111.1	47,4	105,6	140,
MnO	0,1	—	—	—	—	0,9	—	—	—	—	—	0,2	—	—	—	—	—
Résidu sec trouvé par **addition**	126,8	28,0	267,0	198,2	296,9	150,6	88,1	176,6	16,9	10,9	100,3	87,0	198,5	140,2	100,4	114,0	156,
Rés. sec trouvé par **pesée dir.**	122,2	26,9	270,5	201,7	304,8	145,8	78,4	169,3	12,9	8,5	97,5	83,7	194,0	134,9	104,0	116,1	155,
DIFFÉRENCE	+4,6	+1,1	—3,5	—3,5	—7,9	+4,8	+9,7	+7,3	+4,0	+2,4	+2,8	+3,3	+4,5	+5,3	—3,6	—2,1	+0,

ABLEAU

onstituant le résidu sec (en mgr. par litre)

NALYSES)

Gäeap (sur Appenzell)	Fælen (Ct. Appenzell)	Davos (Grisons)	Schlolten Fluelapass (Grisons)	Bianco (Berninapass)	Poschiavo (Berninapass)	St. Moritz (Engadine)	Campfer (Engadine)	Silvaplana (Engadine)	Sils (Engadine)	Ritom (fond) sur Airolo (Tessin)	Ritom (surface) sur Airolo (Tessin)	Ritom (émissaire) sur Airolo (Tessin)	Tom sur Airolo (Tessin)	Cadagno sur Airolo (Tessin)	St. Gothard (Tessin)	Lucendro Tessin (St. Gothard)	Oberalp (Uri)
2,6	0,8	7,1	1,4	2,3	4,0	3,4	2,2	2,6	1,8	10,0	2,8	2,2	5,7	2,6	0,8	0,9	1,6
0,3	0,4	0,1	0,3	0,4	0,3	0,2	0,3	0,4	0,3	1,2	traces	traces	—	0,3	traces	—	traces
—	—	1,5	1,5	—	1,3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2,2	1,5	3,3	—	2,2	2,4	3,1	1,7	2,6	3,0	6,1	4,6	4,0	5,7	4,3	0,85	—	3,7
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,28	2,91	—
—	—	—	0,6	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
2,7	1,5	2,6	3,0	1,8	2,7	3,2	3,3	2,6	3,4	7,8	4,4	3,7	6,6	5,4	—	—	3,3
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1,30	1.57	—
3,8	2,7	4,5	5,9	3,6	16,9	19,2	14,1	15,9	10,7	588,6	33,3	36,3	—	32,4	—	—	1,4
4,1	2,7	21,0	0,7	—	0,8	—	—	0,8	0,9	—	—	—	13,2	—	0,15	0,38	0,5
—	—	—	—	0,2	—	13,1	0,5	—	—	1668,0	36,6	43,2	—	5,1	—	—	—
91,0	76,0	24,2	17,8	8,4	33,8	44,5	36,7	42,7	36,0	90,9	40,8	37,6	27,8	39,3	1,78	3,20	17,8
—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
106,7	85,6	64,3	31,2	18,9	62,2	86,7	58,8	67,6	56,1	2372,6	122,5	127,0	59,0	89,4	6,16	8,96	28,3
106,6	85,8	63,9	30,0	18,6	61,6	89,2	59,8	67,8	58,5	2365,3	122,7	128,8	52,3	87,6	4,30	6,80	24,9
+0,1	—0,2	+0,4	+1,2	+0,3	+0,6	—2,5	—1,0	—0,2	—2,4	+7,3	—0,2	—1,8	+6,7	+1,8	+1,86	+2,16	+3,4

TABLEAU DES

Données sur les lacs.

NOM DU LAC	LIEU	Feuille de l'atlas Siegfried où se trouve le lac.	Altitude en mètres.	Profondeur maxima du lac.	Transparence en mètres.	Couleur de l'eau (gamme Forel).	° C à la surface.	° C au fond.	DATE de la prise 1902-1904.	Temps de l
Taney	sur Vouvry, Valais.	474	1411	31,0 [4])	7,0	VII	15,0	5,0	22 VII midi 02	clair, c
Champex	sur Orsières.	529	1472	5,0 [4])	4,5	IX	14,5	12,0	24 VII 10 heures 02	beau, r
Noir	près Plaffeyen, Fribourg.	364	1048	10,1 [4])	5,0	V	14,0	12,0	2 VIII 5 h. m. 02	pluie, s
Amsoldingen	» Thoune, Berne.	354	643	14,2	2,7	X	23,0	12,0	30 VII 11 h. m. 02	clair, c
Lauenen	» Saanen, »	472	1379	4,0	4,0	VIII	17,0	16,0	27 VII 2 heures 02	clair, v
Arnen	» » »	471	1538	39,2 [4])	4,0	VII	15,0	6,0	26 VII 1 heure 02	beau, v
Oeschinen	sur Kandersteg, Berne.	488	1583	63,0 [4])	1,0 eau laiteuse	V	19,0	6,0	29 VII 2 heures 02	clair, v
Bleu	près Frutigen, »	463	900	10,0	30,0	II	11,0	9,0	29 VII 8 h. s. 02	sombre
Merjelen	sur Fiesch, Valais.	493	2367	47,0 [4])	eau claire	VII	2,5		15 VII 8 h. m. 03	beau,
Grimsel	canton de Berne.	397-490	1875	18,5 [5])	eau claire	IV	5,0		15 VII 8 h. s. 03	beau,
Engstlen	sur Innertkirchen, Berne.	393	1852	51,0	8,0	III	12,0	6,0	16 VII 1 h. 03	nuageu
Melch	s. Melchtal, Unterwalden.	393	1883	14,0	4,0	VI	10,0	5,0	17 VII 8 h. m. 03	couver
Lungern	Unterwalden.	389-388	657	33,0 [4])	7,0	V	14,0	5,0	18 VII 6 h. m. 03	beau, v
Klönthal	sur Glaris.	263	828	33,0 [4])	2,0	VII	13,0	6,0	19 VII 7 h. m. 03	pluvieu
Murg	Ct. de St. Gall.	264	1825	26,0	6,0	VIII	9,0	5,0	20 VII midi 03	gris, s
Greppelen [1]	Toggenburg.	237	1302	6,7		VI	10,0		14 VI 3 h. s. 04	clair
Schönenboden [1]	»	240	1104	5,7			11,5		13 V 5 h. s. 04	clair
Seealp [1]	sur Appenzell.	238	1139	15,5	1,6	VIII	8,0	5,7	21 V 2 h. 04	pluie t
Fälen [1]	Ct. d'Appenzell.	240	1448	23,0	eau trouble		10,0		12 VI 10 h. 04	pluie, s
Davos	Grisons.	419	1562	53,5 [4])	9,0	V	13,0	5,5	21 VII 3 h. s. 03	pluvie
Schotten [2]	Fluelapass, Grisons.	423	2388		eau claire	IV	4,0		22 VII 11 h. 03	clair,
Bianco [7]	Berninapass, »	522	2230	46,7 [4])	eau laiteuse	VI			23 VII 6 h. s. 03	gris, v
Poschiavo	» »	524	962	83,6 [4])	1,5	VIII	10,0		23 VII 1 h. 03	couver
St. Moriz	Engadine, »	518	1767	44,4 [4])	4,0	V	11,0	6,5	24 VII 9 h. m. 03	pluvie
Campfer	» » »	518	1794	34,1 [4])	3,0	VI	11,0	9,0	24 VII midi 03	pluvie
Silvaplana	» » »	518-521	1794	77,1 [4])	2,5	VI	10,0	5,0	24 VII 1 h. 03	pluvie
Sils	» » »	521-520	1800	71,1 [4])	3,5	V	11,5		24 VII 5 h. s. 03	pluvie
Ritom (fond) [3]	sur Airolo, Tessin.	503	1829	44,6 [5])	5,0	VI	11,0	6,0	26 VII 11 h. 03	beau,
Ritom (surface)	» » »	503	1829		6,5	VI	13,4 [5])	6,6 [5])	3 VII matin 04	gris, c
Ritom (émissaire)	» » »	503	1829						3 VII matin 04	gris, c
Tom	» » »	503	2023	11,5 [5])	8,0	V	12,6 [5])	7,2 [5])	5 VII 9 h. m. 04	beau
Cadagno	» » »	503	1921	18,0 [5])	8,5	V	15,6 [5])	5,6 [5])	4 VII 3 h. s. 04	beau
St. Gothard [6]	Tessin.	491	2087	16,6		V	11,9	4,6	6 VII 2 h. 04	clair,
Lucendro [6]	»	491	2077	36,2	8,0	IV	4,4	4,0	6 VII 11 h. 04	couve
Oberalp [6]	Uri.	411	2028	9,5	7,5	VI	13,0	7,5	8 VII 1 h. 04	beau

[1] Eau récoltée et observations faites par Tanner-Füllmann.
[6] Eau récoltée et observations faites par Delebecque.
[2] Eau récoltée par Zimmerli.
[7] Eau récoltée par le personnel de l'hospice
[3] Cette eau contient en solution 17,4 mgr. d'H_2S par litre.

RÉSULTATS

époque ise.	Lieu de la prise.	Résultat des analyses (exprimés en mg. par litre). Résidus sec.	SiO_2	$Fe_2O_3 + Al_2O_3$	CaO	MgO	MnO	K_2O	Na_2O	Cl	SO_3	Oxydabilité exprimée en mgr. $KMnO_4$
ne	fond	122,2	3,0	1,2	60,1	4,2	0,11	1,1	1,4	1,0	5,6	5,10
geux	fond	26,9	3,9	0,4	7,5	0,6	traces	1,3	3,1	2,8	2,7	7,50
bre	fond	270,5	1,9	1,3	111,0	10,1	traces	1,2	2,3	1,2	85,5	7,20
ne	fond	201,7	6,0	0,5	92,7	5,8	traces	2,2	4,8	3,5	5,4	13,20
	fond	304,8	3,2	0,4	116,0	13,2	traces	1,5	2,3	0,3	112,9	4,88
t	fond	145,8	4,5	0,5	71,5	3,5	0,89	1,6	3,3	—	4,3	5,07
t	fond	78,4	2,0	traces	37,4	4,9	traces	2,6	0,8	2,6	7,7	3,02
alme	surface	169,3	4,2	0,6	66,8	17,7	traces	1,5	1,6	—	23,6	1,85
me	surface	12,9	1,4	0,8	3,4	0,4	traces	2,6	1,3	traces	3,7	4,49
me	surface	8,5	1,1	0,4	2,2	0,3	—	1,1	1,1	traces	3,0	4,19
vent	fond	97,5	3,0	0,3	45,8	3,1	traces	1,3	0,4	—	12,5	2,38
vent	fond	83,7	2,4	0,6	40,8	2,1	0,16	1,3	1,4	—	5,4	2,07
t	fond	194,0	4,5	0,2	86,0	11,2	—	1,8	3,8	1,2	17,5	3,84
gris	fond	134,9	3,0	0,2	62,4	7,3	—	1,1	2,1	—	11,6	1,77
bre	fond	104,0	8,5	0,3	33,4	7,3	—	0,9	1,4	—	27,2	4,10
	surface	116,1	1,1	0,5	59,3	1,4	—	1,0	0,8	—	2,0	11,97
	surface	155,8	1,8	0,3	79,0	3,1	—	2,3	1,4	traces	3,5	8,38
rentielle	fond	106,6	2,6	0,3	51,1	3,2	—	1,4	1,0	—	4,2	2,60
nbre	surface	85,8	0,8	0,4	42,7	2,2	—	0,8	0,6	—	3,3	4,34
, vent	fond	63,9	7,1	0,1	13,6	11,5	—	1,4	2,2	0,9	9,7	2,76
me	surface	30,0	1,4	0,3	10,0	2,3	—	2,0	0,8	1,2	5,3	3,01
t	surface	18,6	2,3	0,4	5,4	1,2	—	0,9	1,0	—	4,6	3,01
vent	surface	61,6	4,0	0,3	19,0	6,0	—	1,4	1,7	0,8	13,8	2,87
, calme	fond	89,2	3,4	0,2	30,4	6,4	—	1,7	1,3	traces	23,5	4,67
, vent	fond	59,8	2,2	0,3	20,8	4,7	—	1,8	0,7	traces	12,2	2,34
, vent	fond	67,8	2,6	0,4	24,0	5,7	—	1,4	1,1	traces	13,2	2,63
, vent	fond	58,5	1,8	0,3	20,2	4,0	—	1,8	1,3	—	10,3	2,34
lme	fond	2365,3	10,0	1,2	737,0	196,2	—	4,2	2,7	—	1376,7	5,36
ne	surface	122,7	2,8	traces	37,9	11,1	—	2,4	2,0	—	48,1	3,44
me	au lac	128,8	2,2	traces	38,8	12,1		2,0	1,7	—	53,3	3,16
	fond	52,3	5,7		15,6	6,3		3,5	2,5	—	6,2	3,73
	surface	87,6	2,6	0,3	24,2	10,8		2,9	1,9	—	29,3	4,02
oid	surface	4,3	0,8	traces	1,0	0,87		0,82	1,1	—	0,48	2,58
vent	surface	6,8	0,9	—	1,8	0,18		1,07	1,7	—	traces	3,44
	surface	24,9	1,6	traces	10,0	0,7		1,8	1,6	—	4,5	3,16

[4] D'après la carte fédérale.
[5] Trouvé par Delebecque.

Les traits signifient que l'eau ne contient aucune trace de la substance considérée.
Les espaces libres indiquent que la valeur n'a pas été déterminée.

VI. DISCUSSION DES RÉSULTATS

1. **Discussion des « données sur les lacs. »**

a) Altitude.

Ce sont surtout les petits lacs et particulièrement ceux des hautes régions qui présentent des caractères spécifiques bien définis. Parmi ceux que nous avons examinés, le moins élevé est celui d'Amsoldingen qui se trouve à 643 m. Le lac Schotten, le plus élevé, est à 2388 m. Les lacs situés à des altitudes plus considérables sont peu nombreux et l'accès ainsi que l'étude en serait presque toujours fort difficile. Comme nous le voyons, la majorité de nos lacs se trouvent placés à des altitudes variant entre 1000 et 2000 mètres.

b) Dimensions.

Les lacs Alpins sont généralement plus petits que ceux de la plaine. Parmi ceux que nous avons vus, le plus grand est celui de Sils, ayant une longueur de 5 km. et une largeur de 1,4 km. Les dimensions du plus petit, qui est le lac Bleu, ne dépassent pas 100 m.

La forme des bassins change de l'un à l'autre. Elle est tantôt presque circulaire, tantôt étroite et allongée.

c) Profondeur.

C'est un caractère qui est en rapport direct avec la géologie des environs du lac. Ceux qui ont des rives rocheuses et abruptes sont généra-

lement plus profonds que les lacs situés dans un terrain peu accidenté et bordé de tourbières.

Ce n'est pas la profondeur réelle qui entre en considération, mais plutôt la profondeur relative, représentant le rapport du volume à la surface du lac.

La première atteint un maximum de 83,6 m. dans le lac de Poschiavo et un minimum de 4,0 m. dans celui de Lauenen. La seconde est presque toujours plus considérable chez les lacs Alpins que chez ceux de la plaine.

Comme il était indispensable que nous prissions l'eau à la plus grande profondeur, nous nous sommes vu obligé de faire, pour la trouver, des sondages fort complets. Il nous aurait été possible de tracer, approximativement du moins, le relief du bassin lacustre de chaque lac. Cependant la détermination des profondeurs ayant été faite au moyen d'une corde susceptible de s'allonger ou de se retrécir, les lectures n'étaient pas rigoureusement exactes. De plus, l'orientation au moment des sondages n'ayant pas été déterminée avec les précautions nécessaires, il est compréhensible que nous ayons négligé de mentionner les données se rapportant au relief lacustre, et que nous nous bornions à indiquer les profondeurs maxima. Pour un certain nombre de lacs, c'est la carte Siegfried qui nous les a fournies. Pour d'autres cependant nous avons donné les résultats trouvés par nos sondages.

d) Variations de niveau.

Dans chaque lac, sans exception, nous pouvons trouver quelques variations, en comparant les niveaux à différentes époques. Souvent elles sont si faibles qu'il est difficile de les constater ; d'autrefois, elles atteignent des valeurs très élevées. Les variations de niveau d'un lac dépendent principalement de son genre d'alimentation et de son écoulement. Les affluents superficiels, et particulièrement ceux dont l'eau provient de la fonte des neiges, peuvent amener une élévation de niveau considérable. Les sources, au contraire, ayant généralement un débit régulier, n'ont qu'une influence minime. Quant à l'écoulement, nous savons qu'il peut être sous-lacustre ou superficiel. Dans le premier cas, suivant le débit des affluents, les variations de niveau peuvent augmenter dans de grandes proportions, car, la quantité d'eau pouvant se déverser par un émissaire sous-lacustre ne varie que dans des limites très restreintes, sous l'influence des changements de pression.

Dans le second cas, le débit de l'émissaire augmente ou diminue suivant que le niveau du lac monte ou descend. Ces théories se trouvent vérifiées par l'examen de nos lacs.

Nous trouvons en effet, dans ceux d'Œschinen et Fälen, tous deux alimentés, soit entièrement soit en partie, par la fonte des neiges et possédant des émissaires sous-lacustres, des variations de niveau excessives. Elles sont moins considérables, quoique bien marquées, aux lacs Taney, Lauenen, Merjelen, Lungern et Tom qui présentent le même genre d'écoulement. Le lac Bleu fait exception à la règle, grâce au débit régulier de la source qui l'alimente. La plupart des autres bassins ont un émissaire superficiel, ce qui explique leurs variations de niveau peu prononcées.

e) Affluents et émissaires.

L'eau des affluents change de caractère avec sa provenance. Elle est presque toujours limpide, lorsque le cours d'eau prend naissance dans une source, un lac, ou dans les neiges, à moins qu'elle ne se charge ultérieurement de matières arrachées aux berges. Elle est trouble au contraire, si celui-ci vient d'un glacier ou s'il est formé par des eaux de ruissellement.

Les affluents peuvent être soit superficiels, soit sous-lacustres. Leur importance varie dans de grandes proportions. Nous connaissons déjà l'influence qu'elle peut avoir sur la composition de l'eau.

Les émissaires sont superficiels ou sous-lacustres. Leur débit change avec la quantité d'eau amenée par les affluents.

f) Caractères du terrain sous-lacustre.

Le temps nécessaire à l'analyse des vases nous ayant manqué, nous nous sommes vu obligé de négliger ces recherches si intéressantes. Nous tenons cependant à indiquer les principaux caractères de celles que nous avons eu l'occasion d'examiner.

Presque tous les lacs sont tapissés d'une couche de vase qui change d'épaisseur et de composition, suivant l'endroit où elle se trouve. Là où le mouvement de l'eau ne permet pas aux matières en suspension de se déposer, elle peut manquer totalement.

La vase des *profondeurs* se distingue, en général, de celle des rives par sa grande finesse et son impalpabilité. Elle est le plus souvent formée de matériaux qui proviennent :

1° Des affluents qui amènent des particules excessivement fines, incapables de se maintenir en suspension dans les eaux calmes du lac.

2° De la précipitation de certaines substances devenues insolubles au sein du lac même par suite d'un ensemble de causes physiques et chimiques. Cette genèse est d'ailleurs limitée et ne se produit que dans certains cas déterminés.

3° Des débris de la vie biologique lacustre (voir décalcification).

Souvent cette vase est, entièrement ou en partie, constituée par des algues ou des débris organiques (Ritom, Bleu, Champex, Lauenen). Le fer semble parfois y être très abondant (Davos et autres). D'autres fois, elle sent fortement l'hydrogène sulfuré et nous observons alors que généralement sa couleur diffère de celle de la vase des rives, soit sur une certaine épaisseur seulement (lac Noir), soit de part en part (Ritom). La teinte de la vase varie du gris clair au jaune, brun et noir. *Nous n'en avons jamais rencontré de verte ou bleue.*

Toutes ces différences dans les caractères des vases dépendent donc principalement des qualités du bassin d'alimentation ainsi que des propriétés des affluents et de l'eau du lac.

g) Transparence de l'eau.

Elle est soumise à de considérables et fréquentes variations. Contrairement aux idées émises par certains auteurs, la transparence ne dépend aucunement de la couleur des lacs, si toutefois celle-ci ne dépasse pas les limites de la gamme Forel à 11 tubes. Les variations de température se produisant au sein des lacs, et formant des courants d'eau de différentes densités, ne peuvent, de même, avoir qu'une action excessivement faible sur la transparence.

Le degré de limpidité de l'eau n'est en rapport direct qu'avec la proportion des matières en suspension contenues dans l'eau.

Ces matières peuvent être de natures diverses. Elles se classent en particules organiques et inorganiques. Les premières sont représentées par le plancton. Celui-ci est composé d'algues ou de petits animaux d'espèces très

variées. Sous l'influence de la lumière ou de la température, ces organismes, qui sont souvent extraordinairement nombreux, émigrent d'une couche à l'autre et peuvent amener ainsi de faibles changements dans la transparence.

Les secondes sont beaucoup plus importantes et sont en général amenées par les affluents qui exercent une action destructive sur le terrain qu'ils parcourent. Celle-ci est particulièrement prononcée lors des crues, provoquées par de fortes pluies ou la fonte des neiges. C'est alors que l'érosion du lit et des berges est la plus intense. Par ce fait la quantité de matières en suspension apportées par les affluents augmente, ce qui amène une diminution dans la transparence du lac qu'ils alimentent. Cette dernière se trouve réduite à son minimum dans les bassins alimentés par des torrents venant des glaciers. Ceux-ci, par leur mouvement et leur poids énorme broient les roches et fournissent ainsi des matériaux impalpables en grande abondance qui, grâce à leur finesse, sont capables de se tenir très longtemps en suspension dans l'eau et donnent aux lacs l'aspect laiteux qui caractérise un certain nombre d'entre eux (Œschinen et Bianco).

A côté de la formation des matières insolubles et impalpables par l'action mécanique de l'eau, nous pouvons attribuer leur existence à des réactions physiques et chimiques se produisant au sein des lacs mêmes. L'eau de plusieurs d'entre eux tient en solution de fortes proportions de substances relativement peu solubles. Si pour une cause quelconque l'équilibre est rompu, soit par une concentration, soit par des variations dans les conditions de solubilité, il peut y avoir précipitation d'une certaine partie des matières primitivement dissoutes.

Nous donnerons plus loin, en détail, toutes ces causes de variations.

h) Couleur de l'eau.

Des travaux très importants ont été faits sur la couleur des lacs. Notamment M. d'Aufsess, de Munich, a consacré à ce sujet une thèse fort complète[1]. Les expériences qui ont été faites sur un certain nombre de lacs de la Bavière ont donné des résultats très intéressants, desquels l'auteur conclut: « Qu'une forte proportion de calcaire communique à l'eau

[1] Voir Archives de Genève, 109me année, 4me période, tome XVII.

une teinte verdâtre, tandis qu'une grande quantité de matières organiques en dissolution fait passer la teinte au brun ou au jaune. »

M. W. Spring[1] a de même fait un travail très important sur ce sujet dont il tire les conclusions suivantes : « Les composés calciques des eaux naturelles n'ont pas de couleur propre et ne sont pas cause de la couleur verte observée le plus souvent dans les eaux calcaires, même limpides en apparence. La couleur verte que l'on constate, après l'élimination des matières colorées qui se trouvaient dans l'eau, est la conséquence de la diffraction de la lumière par les particules invisibles que l'eau renferme encore. »

L'examen sommaire de ces deux ouvrages nous montre déjà qu'il existe de grandes divergences entre les différentes opinions sur ce sujet. Nous voyons en effet que M. d'Aufsess attribue la couleur verte des lacs surtout à la présence des sels calciques ainsi qu'aux matières humiques en solution dans l'eau. Il n'admet aucunement l'action colorante des substances en suspension. M. Spring, au contraire, attribue la coloration verte des lacs à une diffraction de la lumière par les particules se trouvant en suspension dans l'eau et nie l'action colorante des sels calciques. D'après lui, ces derniers sont « les plus grands protecteurs du bleu de l'eau » ; car ils éliminent, en les précipitant, les sels ferriques et matières humiques, qui donneraient à l'eau une teinte brune.

Les résultats trouvés par nos recherches sur les lacs alpins semblent justifier les théories suivantes qui en partie correspondent, en partie sont en contradiction, avec celles émises par MM. d'Aufsess et Spring.

1° *La couleur de l'eau des lacs n'est en aucun rapport avec les matières non dissoutes se trouvant en suspension dans l'eau et capables d'influencer sa transparence.*

2° *Elle ne dépend que d'une manière très limitée des causes extérieures (teinte et conformation des rivages, aspect du ciel, etc.), ainsi que des caractères spécifiques du sol sous-lacustre.*

3° *Ce sont uniquement les substances dissoutes dans l'eau qui sont capables d'influencer sa coloration.*

4° *Les sels anorganiques, et en particulier les sels calciques et magnésiens en solution, ne semblent avoir aucune influence.*

5° *Les matières organiques cependant, ayant elles-mêmes une couleur brune (matières humiques notamment) sont seules capables de procurer à*

[1] Voir extrait des Archives des sciences physiques et naturelles de Genève, 4me période, tome XX, août 1905.

l'eau la teinte verte observée dans la plupart de nos lacs et rivières. Celle-ci est la résultante de l'action composée de la couleur bleu de l'eau pure avec la teinte brune de certaines substances organiques.

En effet, nous constatons, en examinant les données de notre tableau, qu'il n'y a aucune relation entre la transparence et la couleur de l'eau. Les lacs Noir, Œschinen, Lungern, Davos, St-Moriz, Sils, Tom et Cadagno, qui possèdent tous la couleur V, présentent les transparences suivantes : 5,0, 1,0, 7,0, 9,0, 4,0, 3,5, 8,0, 8,5. Les lacs Melch, Bianco, Campfer, Silvaplana, Ritom et Oberalp, qui ont tous la couleur VI ont aussi des transparences très variées qui sont de : 4,0, eau laiteuse, 3,0, 2,5, 5,0, 7,5. Le même fait est observé sur les autres lacs. La transparence étant en rapport direct avec la quantité de matières en suspension, il est évident que celles-ci ne peuvent avoir aucune action sur la couleur de l'eau. Ceci correspond à l'opinion de M. d'Aufsess. M. Spring, au contraire, veut démontrer que l'influence des substances en suspension sur la coloration de l'eau est incontestable. Cette divergence semble être due à une légère erreur d'expérience. En effet, M. Spring décrit, pages 3, 4 et 5 de sa communication, comment il a obtenu des solutions de carbonate et sulfate de chaux semblables à celles représentées par l'eau de certains lacs. Elles présentaient une coloration verte, tandis que l'eau pure employée à la dissolution était nettement bleue. D'où provient donc cette différence de couleur ? En les examinant de plus près, l'auteur trouva que ces solutions n'étaient pas absolument limpides. Cependant, après les avoir filtrées à travers une couche de *noir animal* récemment calciné, ces solutions possédaient à nouveau la couleur bleue de l'eau pure et étaient, en plus, optiquement vides. M. Spring en conclut que c'étaient les matières insolubles qui produisaient la teinte verte dans les solutions encore troubles et non filtrées. Ce raisonnement serait juste si les solutions calciques avaient été parfaitement libres de substances organiques. En effet M. Spring, en parlant de ces solutions, dit encore : « Le résidu de l'évaporation était absolument blanc, mais, soumis à la calcination, il a perdu de sa blancheur pour la reprendre ensuite. Il renfermait donc très probablement des traces de matières organiques. » C'est sans doute à ces dernières qu'il faut attribuer la teinte verte des liqueurs mentionnées, d'autant plus que l'auteur reconnaît lui-même l'extrême puissance colorante des matières humiques. L'action des substances en suspension ne semble donc pas être prouvée d'une manière précise, vu que le noir animal absorbe la plupart des matières colorantes qui peuvent entrer en considération dans ce cas particulier.

Les causes extérieures et les caractères spécifiques du sol sous-lacustre ne peuvent avoir qu'une influence très restreinte sur la coloration même de l'eau. Leur action ne peut changer que l'aspect et la teinte générale d'un lac. Tel est le cas du lac Noir. Bien que possédant une eau ayant la couleur V, il paraît être d'un vert très foncé presque noir. Ceci est dû en partie aux forêts environnantes et surtout à la vase qui a une teinte noirâtre.

Une très forte proportion de matières en suspension peut avoir la même action, sans influencer toutefois la couleur de l'eau. Tel est le cas d'un assez grand nombre de lacs et particulièrement de celui d'Œschinen et Bianco qui, tout en ayant un aspect laiteux, ont une eau ayant la couleur V et VI.

A propos de l'action des sels calciques et magnésiens ainsi que de la plupart des autres substances anorganiques telles que : silice, alumine, potasse et soude, les données du tableau ne nous révèlent aucune relation entre leurs proportions et la couleur. Ainsi les lacs Noir, Œschinen, Lungern, Davos, St-Moriz, Sils, Tom, Cadagno et St-Gothard, qui ont tous la couleur V, présentent des quantités excessivement variées de ces matières. L'influence colorante de la chaux et de la magnésie est nulle. Quant à celle du fer, qui serait très importante si celui-ci était à l'état de sels ferriques, M. Spring a déjà démontré que, sous l'action réunie de la lumière et des substances organiques, ceux-ci étaient transformés en composés ferreux, incolores. Celle du manganèse n'est pas déterminée.

Quant aux matières organiques, leur influence sur la coloration de l'eau est reconnue par tous les auteurs s'occupant de cette question. Messieurs d'Aufsess et Spring, ainsi que M. Forel, sont d'accord pour leur attribuer, dans la plupart des cas, la teinte verte ou brune de l'eau qui varie suivant leur quantité. Nous avons, en effet, une couleur résultante d'un mélange du bleu de l'eau pure avec le jaune ou le brun qui caractérise une grande partie des substances organiques pouvant entrer en considération dans notre cas. Elles sont presque toutes formées par la décomposition de résidus végétaux et animaux qui se trouvent, soit dans le sol du bassin d'alimentation, soit dans les tourbières qui, assez souvent, bordent les lacs. Nous devrions donc trouver, par nos recherches et en comparant les données, une relation constante entre l'oxydabilité et la couleur de l'eau.

Il est cependant utile de savoir que :

1° Dans les essais de laboratoire qui servaient à déterminer l'action colorante des matières organiques sur l'eau, on utilisait presque toujours des substances plus ou moins connues, telle que l'acide humique.

2° Toutes les matières organiques qui peuvent se trouver en solution

dans l'eau et que l'analyse nous révèle, ne possèdent pas toutes le même pouvoir colorant.

3° L'analyse de l'eau des lacs, telle que nous l'avons effectuée au laboratoire, ne nous permettait de doser que les substances organiques pouvant être oxydées par le permanganate.

Il résulte de ce que nous venons de dire que nous ne trouverons pas toujours une concordance bien marquée entre l'oxydabilité et la couleur. Nous voyons cependant que, pour les lacs où les matières oxydables se trouvent en petites quantités, la teinte se rapproche généralement plus du bleu que pour ceux où ces matières sont en grande abondance. Les lacs dont les rives sont rocheuses, qui ont un bassin d'alimentation dépourvu de végétation, et particulièrement ceux possédant des sources comme principaux affluents, sont plus bleus que les bassins dont la proportion de substances organiques est accrue par la présence d'un terrain riche en humus ou marécageux. Ainsi le lac Bleu, alimenté par une source, et dont l'eau est extraordinairement pauvre en matières oxydables, a une teinte se rapprochant beaucoup de celle de l'eau parfaitement pure. Sur tous les autres lacs, nous observons que la couleur tire sur le vert et même le jaune, ce qui correspond avec leur plus forte teneur en substances organiques. Celui d'Amsoldingen, ayant dès rives marécageuses capables de fournir des matières humiques en grande quantité, présente le maximum d'oxydabilité et possède la couleur X, soit celle qui s'éloigne le plus du bleu.

i) Températures.

L'étude des conditions thermiques offrant un grand intérêt, il aurait été utile de la compléter en déterminant les températures de chaque lac à différentes profondeurs et places. En répétant ces déterminations à plusieurs reprises durant l'année, on aurait obtenu un tableau fort complet des variations thermiques de chacun d'eux. Vu les difficultés à surmonter, il nous a été malheureusement impossible de faire des recherches aussi approfondies.

Pour quelques lacs, nous avons dû nous contenter de prendre la température à la surface tandis que, pour les autres, nous avons pu la déterminer à la surface et au fond, à l'endroit de la plus grande profondeur.

Les données ainsi trouvées sont suffisamment précises pour permettre d'en tirer des conclusions fort intéressantes.

Nous pouvons dire que, lors de nos recherches, les températures de la

surface étaient toutes plus élevées que celles du fond. Elles atteignaient leur maximum de 23,0° dans le lac d'Amsoldingen et leur minimum de 2,5° dans celui de Merjelen. Ces températures dépendent, comme nous le voyons, de l'altitude à laquelle se trouve le lac, de son orientation, de son climat, de son genre d'alimentation et de la transparence de son eau. Les lacs situés à de grandes altitudes, peu abrités, dans un climat froid, alimentés par la fonte des neiges et glaces et ayant une transparence élevée, présenteront à leur surface des températures relativement basses. Tel est le cas des lacs Merjelen, Grimsel, Murg, Seealp, Schotten et Lucendro, dont l'eau superficielle présentait des valeurs inférieures à 10° C.

Les températures de l'eau du fond ne dépassaient que rarement une certaine limite[1]. Elles semblent être très peu influencées par les facteurs pouvant avoir une action sur celles de la surface. Elles dépendent du climat et *surtout de la profondeur*. Elles atteignaient un maximum de 16,0° dans le lac de Lauenen et un minimum de 4,0° dans celui de Lucendro. Ceux de Champex, Noir, Amsoldingen, Lauenen, Bleu, Tom et Oberalp possédaient au fond une eau relativement chaude, ce qui est dû à leur profondeur minime. Nous savons en effet que les couches inférieures reçoivent leur chaleur des couches supérieures ainsi que des rayons solaires qui peuvent y pénétrer. Il est donc compréhensible que, plus la masse d'eau séparant le fond de la surface sera considérable, moins l'action calorifique se fera sentir. Pour la même raison les variations météorologiques ne pourront amener de perturbations que jusqu'à une certaine profondeur déterminée. Cette limite s'appelle la *couche du saut*. Elle ne dépasse que rarement 20 mètres pour les variations thermiques journalières. Une limite semblable, quoique bien moins marquée, existe pour les changements thermiques annuels. C'est à cette profondeur que s'arrête toute influence provenant des variations météorologiques ainsi que les courants ascendants et descendants qu'elles provoquent. A partir de cette profondeur nous aurons donc une *zone parfaitement calme* ne présentant de changements importants, ni dans les propriétés physiques ni dans les qualités chimiques de son eau, qui resteront sensiblement constantes. Ce fait se trouve vérifié par la plupart des recherches effectuées sur un grand nombre de lacs[2]. L'action

[1] Comme pour les solutions salines aqueuses, la température de la plus grande densité diminue avec les pressions et concentrations croissantes on prévoit facilement que celles de l'eau des lacs doit diminuer d'une manière constante de la surface au fond, à moins que des causes quelconques, viennent détruire l'équilibre. (Voir Physikalisch-Chemische Tabellen von H. Landolt und R. Börnstein 2me édit., pages 105 et 106). D'après ces données la température des couches profondes, les plus denses devrait varier entre 4,0° et 3,0° C suivant la profondeur et la concentration de l'eau.

[2] Voir Delebecque. *Les lacs français.*

dynamique et thermique des vents, des affluents et émissaires superficiels et sous-lacustres peuvent cependant donner lieu à des exceptions, en détruisant l'équilibre naturel des lacs. Tel est le cas de certains d'entre eux (lac de la Girotte, H^te^-Savoie) et surtout du lac Ritom, dont nous avons déjà signalé les curieuses anomalies.

k) Date, temps et lieu.

D'après ce que nous venons de dire, on voit que les caractères physiques d'un lac sont soumis à de très fréquentes variations. C'est pourquoi, il nous a semblé indispensable d'indiquer très exactement la date, le lieu de la prise et le temps qu'il faisait lors de nos recherches.

2. Discussion des résultats des analyses.

Pour faciliter cette discussion, il est indispensable de savoir quelle est l'action de l'eau sur les différentes matières qui peuvent se trouver dans les bassins d'alimentation de nos lacs. Elle est très complexe et peut se diviser en :

a) action mécanique.
b) » chimique.

a) Action mécanique de l'eau.

Elle consiste en une désagrégation plus ou moins complète des matières constitutives de la surface de la terre. Elle est trop connue pour qu'il soit utile d'entrer dans des détails. Rappelons-nous seulement que l'eau agit, soit par son augmentation de volume lors de sa congélation, soit par son poids, à l'état liquide ou solide (cours d'eau, glaciers). La désagrégation sera d'autant plus énergique que la matière sera moins résistante.

b) Action chimique de l'eau.

Celle-ci se divise en :

α. Action purement dissolvante.
β. » décomposante.
γ. Réactions des substances en solution entre elles.

α. Action dissolvante de l'eau.

On sait que l'eau est un des dissolvants les plus importants. Il y a en effet peu de matières qui résistent à son action prolongée. L'intensité de cette dernière dépend surtout de la solubilité relative de la matière considérée, de la surface de contact, de la durée de celui-ci, de la température et de la pression. Ces différentes conditions entrent fortement en jeu dans notre cas, où généralement les matériaux sont peu solubles. L'action purement dissolvante de l'eau se manifeste d'une manière bien marquée sur les produits de décomposition, soit des matières organiques (humus), soit des substances inorganiques qui, à l'état indécomposé, ne seraient pas solubles ou le seraient très peu (silicates, carbonates). De plus, elle agit sur un grand nombre d'autres corps tels que certains sels sodiques et potassiques, les chlorures, nitrates, nitrites, certains phosphates, carbonates et les sulfates. Parmi ces substances, nous nous occuperons particulièrement de celles qui prédominent dans les terrains constituant les bassins d'alimentation de nos lacs et qui nous sont révélées par l'analyse des eaux. Les chlorures, nitrates et nitrites sont très solubles, surtout comme sels sodiques et potassiques, mais n'ont qu'une importance médiocre. Quant aux sulfates, ils sont presque toujours représentés par le gypse. Celui-ci, quoique relativement peu soluble, présente, comparé aux autres matières constitutives des roches, une solubilité considérable. En effet, 1 litre d'eau pure est capable de dissoudre à 18° C. 2,59 gr. de $CaSO_4+_2H_2O$ (Marignac). Partout où nous aurons du gypse, il sera donc facilement dissout, ce qui explique son abondance dans les eaux venant du trias, qui est riche en sulfate de chaux. Il en est autrement pour le carbonate de chaux, qui présente une solubilité bien plus limitée et est une des substances les plus abondantes des bassins d'alimentation de nos lacs. Celui-ci, suivant les recherches faites par M. J. von Essen[1], n'est que très peu soluble. Un litre d'eau pure n'est capable de dissoudre à température et pression ordinaire que 0,0178 gr. de $CaCO_3$. Ce n'est donc pas uniquement à l'action dissolvante de l'eau que nous pouvons attribuer la présence des grandes quantités de chaux que nous trouvons dans nos lacs même en admettant que l'eau arrive à se saturer entièrement ce qui n'est nullement probable.

[1] J. von Essen, *Recherches expérimentales sur la solubilité des Carbonates et Bicarbonates dans la série isomorphe RCO_3*. Thèse faite à Genève sous la direction de M. le professeur Duparc en 1897.

Quant aux combinaisons du magnésium, elles sont, à part les silicates magnésiens, représentées surtout par la dolomie, qui est un mélange de carbonates de chaux et de magnésie. Le carbonate de magnésie, quoique bien moins soluble que les carbonates alcalins et que le gypse, l'est cependant suffisamment pour expliquer en partie les proportions assez fortes qui se trouvent dans l'eau. En effet, 1 litre d'eau pure dissout à température et pression normales 0,0995 grammes de $MgCO_3$ (Essen, thèse).

Il en est de même du manganèse, que certaines eaux présentent en quantités assez importantes et dont le carbonate, d'après J. von Essen, se dissout à raison de 0,0269 gr. par litre.

Le tableau suivant, extrait de la thèse de M. von Essen, donne la solubilité des divers carbonates dans l'eau pure à 15° C. sous pression atmosphérique (quantité de matière dissoute en 1 litre d'eau).

Carbonates.	Matières solubilisées au bout d'un mois.	Matières solubilisées au bout de 4 mois.
$CaCO_3$	0,0178	0,0178
$BaCO_3$	0,0262	0,0264
$SrCO_3$	0,0220	0,0246
$MgCO_3$	0,0998	0,0995
$NiCO_3$	0,0270	0,0289
$MnCO_3$	0,0256	0,0269
$CoCO_3$	0,0273	0,0247
$PbCO_3$	0,0106	0,0127
$ZnCO_3$	0,0089	0,0120
$FeCO_3$	0,0036	———

β. *Action décomposante de l'eau.*

Celle-ci n'est pas nécessaire pour expliquer la présence des substances suffisamment solubles dans l'eau. Elle est au contraire indispensable pour justifier les fortes proportions de certaines matières dont la solubilité est très minime. Tel est le cas de la plupart des carbonates constitutifs des roches. Nous sommes donc obligés d'admettre leur décomposition sous l'action de *l'acide carbonique* de l'eau qui les transforme en bicarbonates plus solubles.

Le CO_2 provient soit de l'air soit de la décomposition (oxydation) des matières organiques, avec lesquelles l'eau est entrée en contact. Un litre

d'eau saturé de CO_2, peut dissoudre à 0° C et pression atmosphérique 1,4178 gr. de $CaCO_3$, 9,7648 gr. de $MgCO_3$ et 0,3224 gr. de $MnCO_3$ (Essen, thèse).

Le tableau suivant, extrait de la thèse de M. von Essen, donne la solubilité des carbonates dans l'eau saturée de CO_2 à 0° et à pression atmosphérique. (Quantité de matière dissoute en 1 litre d'eau).

Carbonates.	Matières solubilisées en 3 heures.	Matières solubilisées en 6 heures.	Matières solubilisées en 9 heures.
$CaCO_3$	1,4213	1,4178	—
$BaCO_3$	1,1649	1,5014	2,1173
$SrCO_3$	1,016	1,044	—
$MgCO_3$	6,5837	7,0755	9,7648
$NiCO_3$	1,1775	1,2470	—
$MnCO_3$	0,3169	0,3224	—
$CoCO_3$	0,380	0,4312	—
$PbCO_3$	0,0379	0,036	—
$ZnCO_3$	1,4473	1,5692	1,6395
$FeCO_3$	—	solubilité extraordinairement petite.	

Quoique les eaux naturelles, et en particulier celles de nos lacs, ne soient généralement pas saturées de CO_2, on voit que la présence de ce gaz a une grande importance. Outre l'influence de l'acide carbonique sur la dissolution des roches relativement peu solubles, nous sommes encore obligé de tenir compte de l'action de certains sels, qui peuvent accentuer le pouvoir dissolvant de l'eau [1].

γ. Réaction des substances en solution dans l'eau entre elles.

Comme nous venons de le voir, l'eau exerce sur le terrain du bassin d'alimentation des lacs trois actions bien distinctes qui sont : la désagrégation mécanique, la dissolution et la décomposition.

La première se manifeste surtout à l'origine et dans le cours des torrents et rivières. Il en est de même de l'action dissolvante de l'eau, mais, comme la désagrégation, elle n'aura plus aucune importance dans les lacs

[1] Voir les différents ouvrages faits sur ce sujet dans les laboratoires de M. le professeur Duparc, que nous avons déjà mentionnés plus haut, lors de l'interprétation des résultats des analyses.

où l'eau manque de mouvement et abandonne les matières qu'elle tenait en suspension. Tel n'est pas le cas pour la décomposition. Celle-ci peut aussi bien se produire au sein des lacs que dans le cours des rivières. En effet, il est possible que les réactions qui se font entre les différentes substances dissoutes par l'eau ne puissent se terminer entièrement dans les affluents. Elles devront alors se compléter dans le lac.

Si ce dernier est alimenté par plusieurs cours d'eau venant de régions diverses, leurs eaux, ne présentant pas la même composition, donneront lieu, par leur mélange, à de nouvelles réactions, qui tendront à rétablir l'équilibre chimique.

D'autres réactions pourront encore se produire sous l'influence de variations dans les quantités de certains gaz dissous dans l'eau tels que l'oxygène, l'acide carbonique, l'hydrogène sulfuré, etc.

L'oxygène dû au contact intime de la surface de l'eau avec l'air, ou à la vie biologique lacustre[1], pourra déterminer une oxydation plus ou moins complète des matières oxydables et particulièrement des substances organiques. Il en résultera une diminution de la teneur de l'eau en ces matières et en même temps formation de CO_2. L'hydrogène sulfuré fournira des produits d'oxydation tels que l'acide sulfurique, etc., et même du soufre.

L'acide carbonique emprunté à l'air ou formé soit par la vie biologique lacustre, soit, comme nous venons de le voir, par la décomposition des matières organiques, augmentera le pouvoir dissolvant de l'eau et tendra à transformer les carbonates en bicarbonates plus solubles. Si au contraire, pour une raison quelconque, la quantité de CO_2 dissoute dans l'eau est diminuée, cette dernière perdra une partie de ses propriétés dissolvantes.

Quant à *l'hydrogène sulfuré,* il semble procurer à l'eau un caractère tout à fait particulier (voir Ritom et Cadagno). Il serait fort intéressant d'étudier son action de plus près.

Parmi les autres réactions pouvant se produire dans l'eau des lacs, il est utile de mentionner celles de la chaux sur les sels de fer et les substances organiques. Dans son travail, M. W. Spring les décrit avec beaucoup de précision. C'est ce qui explique les petites quantités de fer et de matières organiques que nous trouvons dans l'eau des lacs ainsi que leur abondance dans la plupart des vases[2].

Nous voyons, d'après tout ce que nous venons de dire, que les réactions

[1] Voir Delebecque, *Les Lacs Français,* p. 216.
[2] Ibid., p. 88.

qui peuvent se produire au sein des lacs sont extraordinairement complexes et qu'il serait par conséquent illusoire de vouloir les préciser avec exactitude. Elles tendent toutes, néanmoins, à un but commun qui est *l'établissement parfait de l'équilibre chimique dans l'eau.*

Quel que soit d'ailleurs l'état de cet équilibre, les eaux d'un lac pourront soit se concentrer soit se diluer.

M. Louis Dupare, dans son excellent travail sur le lac d'Annecy [1], a prouvé que l'eau de ce lac présentait un résidu sec moins élevé que celui qui devait résulter du mélange de l'eau de ses affluents. Il y avait donc dilution des eaux amenées par ces derniers ou appauvrissement par une cause quelconque. M. Dupare attribue ce fait à une *décalcification* de l'eau sous l'action de la vie biologique lacustre. Cette théorie est d'autant plus juste que, suivant des analyses faites sur l'eau à différentes profondeurs, la décalcification est particulièrement prononcée dans les couches supérieures. C'est en effet dans celles-ci que la vie biologique doit être la plus intense, grâce à la lumière qui y pénètre [2].

Pour un grand nombre de lacs et particulièrement pour ceux des régions élevées, les conditions étant différentes, on ne peut attribuer uniquement à la vie biologique les phénomènes de dilution et concentration qui sont souvent très marqués [3].

Pour nos lacs nous sommes obligé de tenir compte du genre d'alimentation et des variations météorologiques, qui ont une grande importance, d'autant plus que leurs dimensions sont généralement fort restreintes :

Nous prévoyons qu'il y aura *dilution* des eaux d'un lac :

1° Sous l'influence d'affluents amenant une eau relativement peu minéralisée comme celles dues à la fonte des neiges et ayant à peine ruisselé.

2° Par suite de précipitations atmosphériques sur la surface du lac soit comme pluie ou neige soit encore par condensation directe.

3° Par la fonte des glaces couvrant le lac.

Comme nous l'avons vu, la composition de l'eau des affluents ne diffère généralement que très peu de celle de l'eau de la surface [4] des lacs qu'ils alimentent. Comme un grand nombre de ces bassins reçoivent des eaux

[1] Archives des sciences physiques et naturelles, 3me période, t. XXXI, février 1894. *Le Lac d'Annecy*, monographie par L. Duparc.

[2] Certains auteurs expliquent la décalcification en admettant que dans les couches supérieures des lacs l'eau abandonne, en se réchauffant, une partie de l'acide carbonique qu'elle tenait encore en solution dans les affluents. Il en résulterait une transformation du bicarbonate en carbonate moins soluble.

[3] Voir lac Ritom et autres.

[4] Arnen, Ritom.

provenant exclusivement de la fonte des neiges ou glaces en été, les très fortes crues de ces eaux amèneront une dilution de celles du lac. Celle-ci se fera sentir principalement dans les couches supérieures, grâce à la pureté et à la faible densité des eaux provenant des neiges.

A l'action des affluents viennent s'ajouter les précipitations atmosphériques qui, comme nous le savons, doivent l'emporter de beaucoup sur l'évaporation dans nos lacs alpins[1].

Les précipitations atmosphériques formées après la congélation du lac produiront leur action dissolvante lors du dégel. Comme la glace est exempte de toutes matières dissoutes, ce dernier amènera forcément une dilution fort complète, surtout dans les couches supérieures.

Nous voyons, d'après ce que nous venons d'exposer, que les causes pouvant amener une *dilution* sont très importantes. Elles se font sentir particulièrement dans les couches supérieures et doivent atteindre leur valeur maxima au cœur de l'été. Elles seront au contraire très limitées pendant les saisons froides.

Nous prévoyons qu'il y aura *concentration* des eaux d'un lac :

1° Sous l'influence d'affluents, superficiels ou sous-lacustres, amenant une eau très fortement minéralisée.

2° Par la congélation du lac.

3° Par l'évaporation.

Parmi les affluents amenant une eau riche en matières dissoutes, nous comptons surtout les sources. Elles peuvent sortir à proximité du lac (lacs Bleu, Lauenen), ou sourdre au fond de celui-ci. Leur eau étant généralement plus dense que celle du lac même, elle s'accumulera au fond et déterminera une concentration des couches inférieures.

Quant à la congélation, il suffit de savoir que l'eau, en se congelant, abandonne toutes les matières qu'elle tenait en solution pour se rendre compte des variations considérables qu'elle peut amener dans l'équilibre chimique d'un lac de petites dimensions. Les substances primitivement dissoutes dans le volume occupé par la glace seront obligées de se répartir dans les couches restées liquides et en accroîtront la concentration au fur et à mesure que l'épaisseur de la glace augmentera. Cette concentration n'a aucune importance pour les lacs relativement profonds, et si la glace n'atteint qu'une petite épaisseur. Elle se fera bien sentir, au contraire, dans les bassins dont la profondeur moyenne est minime.

[1] Voir L. Dufour, *Léman.*

L'évaporation n'a aucune influence sur nos lacs, comme l'a démontré M. Dufour.

Nous voyons donc que les causes pouvant amener une *concentration* sont généralement moins importantes et agissent surtout sur les couches profondes.

Ces considérations correspondent avec les principaux caractères de nos lacs. Elles nous permettent en effet de comprendre la grande différence qui existe entre la composition chimique de l'eau du fond et de celle de la surface d'un même lac là où la décalcification par la vie biologique ne suffit pas pour expliquer ces phénomènes.

Quant aux *précipitations* qui pourraient se produire au sein des lacs, soit par suite de la concentration de l'eau, soit par des changements dans les conditions de solubilité, il serait fort difficile de se prononcer définitivement. Vu la teneur assez faible de la plupart des eaux de nos lacs en matières dissoutes, il faut généralement admettre que, même en supposant une concentration progressive très énergique, une précipitation ne sera guère probable. Ce n'est pas le cas pour certaines précipitations chimiques, telles que celles des composés ferriques et organiques par la chaux des bicarbonates transformés en carbonates moins solubles et d'autres encore ignorées qui, peut-être, pourraient déterminer la formation de certaines formations cristallines (de la CO_2, MnO, etc.), trouvées parfois dans les vases.

Ce ne sera que l'examen chimique et microscopique des vases de nos lacs qui pourra nous fournir des renseignements complets sur ce point obscur.

c) Classification rationnelle des lacs alpins.

Comme nous l'avons déjà mentionné au commencement de ce travail, cette classification se base sur le rapport qui existe entre les caractères du bassin d'alimentation et les propriétés de l'eau de chaque lac. Nous diviserons ces derniers en deux groupes bien distincts suivant la composition chimique du terrain, silicaté ou calcaire, de leur bassin d'alimentation. Ces deux groupes seront à leur tour subdivisés, suivant l'importance de celui-ci.

En indiquant successivement pour chaque lac les valeurs trouvées pour le résidu sec, la silice, le fer et l'alumine, la chaux, la magnésie, l'acide sulfurique et l'oxydabilité, nous arriverons à trouver quel rapport existe entre les propriétés du bassin d'alimentation et la composition de l'eau.

I. Lacs possédant un bassin d'alimentation silicaté.		II. Lacs possédant un bassin d'alimentation calcaire.		
a. Bassin d'alimentation très limité.	*b.* Bassin d'alimentation considérable: Présence de gisements triasiques.	*a.* Bassin d'alimentation très limité.	*b* Bassin d'alimentation considérable.	*c.* Bassin d'alimentation considérable et alimentation par sources, terrain triasique.
Champex	Davos	Oeschinen	Taney	Noir
Merjelen	Poschiavo	Engstlen	Arnen	Amsoldingen
Grimsel	St-Moriz	Melch	Klönthal	Lauenen
Schotten	Campfer	Fälen	Murg	Bleu
Bianco	Silvaplana	Cadagno	Greppelen	Lungern
St-Gothard	Sils		Schönenboden	Ritom
Lucendro	Tom		Seealp	
Oberalp				

1. *Résidu sec.*

Voici le tableau donnant la valeur des résidus secs de l'eau des différents lacs.

I.		II.		
a.	*b.*	*a.*	*b.*	*c.*
26,9	63,9	78,4	122,2	270,5
12,9	61,6	97,5	145,8	201,7
8,5	89,2	83,7	134,9	304,8
30,0	59,8	85,8	104,0	169,3
18,6	67,8	87,6	116,1	194,0
4,3	58,5		155,8	2365,3
6,8	52,3		106,6	
24,9				

Comme nous le voyons, la valeur du résidu sec varie dans de très fortes proportions. Elle dépend directement des caractères du bassin d'alimentation. Les terrains silicatés fournissent une eau dont le résidu sec est minime. Il ne dépasse jamais la valeur de 30 mgr. pour les lacs dont le bassin d'alimentation est restreint. Cependant, si celui-ci est considérable, elle peut être plus élevée, sans toutefois surpasser 90 mgr. Les terrains calcaires, au contraire, augmentent d'une façon très marquée la valeur du résidu sec, même si le bassin d'alimentation est très limité. Quand ce dernier a une certaine importance, et principalement lorsqu'il est constitué de for-

mations triasiques, elle peut être très élevée, surtout quand nous avons affaire à une alimentation par des sources.

En connaissant le résidu sec d'un lac, nous pouvons donc facilement déterminer, sans faire grande erreur, la plupart des propriétés et caractères de son bassin d'alimentation ou vice-versa.

2. *La silice.* (SiO_2)

Voici le tableau donnant les valeurs de la silice.

I.		II.		
a.	*b.*	*a.*	*b.*	*c.*
3,9	7,1	2,0	3,0	1,9
1,4	4,0	3,0	4,5	6,0
1,1	3,4	2,4	3,0	3,2
1,4	2,2	0,8	8,5	4,2
2,3	2,6	2,6	1,1	4,5
0,8	1,8		1,8	10,0
0,9	5,7		2,6	
1,6				

Ces valeurs, comme nous le voyons, oscillent entre 0,8 mgr. comme minimum et 10,0 mgr. comme maximum. Au premier abord, aucune relation ne semble exister entre les caractères du terrain d'alimentation et la teneur de l'eau en silice. Cependant, en examinant de plus près, nous observons que l'importance du premier a une action assez marquée. Dans les deux séries, les colonnes *a* présentent en moyenne des valeurs plus faibles que celles de *b* et *c*, ce qui confirme ce que nous venons de dire. Nous ne remarquons au contraire aucune différence appréciable entre les séries I et II. Ce fait semble curieux ; car on devrait croire que les terrains silicatés sont capables de fournir une eau plus riche en SiO_2 que ceux formés de roches calcaires. Ceci peut s'expliquer par la grande résistance des silicates à l'action de l'eau. Nous savons de plus que l'analyse nous fournit uniquement le SiO_2 et les silicates *indécomposables* par l'acide chlorhydrique, tandis que ceux qui sont solubles dans cet acide échappent aux recherches. La valeur de ces derniers est donc ignorée et pourrait être la cause des anomalies apparentes que nous observons. Si le lac Ritom présente des quantités anormalement élevées de silice, cela semble être en rapport avec le genre d'alimentation des couches profondes ainsi qu'avec la teneur de l'eau en hy-

drogène sulfuré. Un cas semblable a déjà été constaté dans le lac de la Girotte par M. A. Delebecque.

3. *Le Fer et l'alumine.* ($Fe_2O_3+Al_2O_3$)

Les valeurs de ces deux corps ne sont nullement en rapport avec les caractères du bassin d'alimentation. Elles restent sensiblement égales pour tous les lacs et ne sont jamais considérables. Leur maximum de 1,3 mgr. est atteint par le lac Noir. Cependant, il est rare de trouver une eau telle que celle du lac Tom, où ces deux substances manquent totalement.

La pauvreté de l'eau en fer et alumine serait inexplicable, principalement pour les bassins ayant un terrain ferrugineux et riche en argile, si M. Spring n'avait prouvé, par ses dernières recherches, que ces corps étaient, en grande partie, précipités par les sels calciques. En effet, il est inadmissible que l'eau soit incapable de dissoudre et de maintenir en solution de plus fortes proportions de fer et d'alumine, surtout en présence d'acide carbonique.

4. *La chaux.* (CaO)

Nous savons qu'elle se trouve dans l'eau soit à l'état de bicarbonate, soit à l'état de sulfate, ou carbonate, souvent en assez grande quantité. Voici les valeurs obtenues pour les différents lacs.

I.		II.		
a.	*b.*	*a.*	*b.*	*c.*
7,5	13,6	37,4	60,1	111,0
3,4	19,0	45,8	71,5	92,7
2,2	30,4	40,8	62,4	116,0
10,0	20,8	42,7	33,4	66,8
5,4	24,0	24,2	59,3	86,0
1,0	20,2		79,0	737,0
1,8	15,6		51,1	
10,0				

Ce tableau nous montre que la chaux, plus que toute autre substance, est proportionnelle au résidu sec et dépend, comme lui, des caractères et propriétés du bassin d'alimentation. En effet, nous trouvons dans les lacs situés dans un terrain silicaté un maximum de 30,4 mgr. seulement, tandis

que pour les lacs calcaires, celui-ci atteint 737,0 mgr. Nous voyons de plus qu'entre les valeurs indiquées dans les colonnes *a, b* et *c* il existe toujours une différence bien marquée. Ceci prouve que c'est non seulement la composition du terrain d'alimentation qui a une action sur les proportions du CaO, mais aussi ses dimensions. Une conclusion des plus remarquables qu'on peut tirer de ces résultats est qu'en tout terrain et même dans le plus silicaté, la chaux se trouve toujours en quantités très appréciables et sous une forme facilement soluble.

Outre cela, les valeurs de CaO dépendent encore des gaz dissous dans l'eau. L'acide carbonique, et peut-être l'hydrogène sulfuré, sont d'une grande importance, étant capables d'augmenter considérablement les propriétés dissolvantes de l'eau. Le lac Ritom semble confirmer ce fait.

5. *La Magnésie.* (MgO)

La magnésie est la substance dont les valeurs correspondent le plus avec celles de la chaux, tout en étant toujours plus petites. Elles sont en rapport intime avec celles de l'acide sulfurique.

I.		II		
a.	*b.*	*a.*	*b.*	*c.*
0,6	11,5	4,9	4,2	10,1
0,4	6,0	3,1	3,5	5,8
0,3	6,4	2,1	7,3	13,2
2,3	4,7	2,2	7,3	17,7
1,2	5,7	10,8	1,4	11,2
0,87	4,0		3,1	196,2
0,18	6,3		3,2	
0,7				

Comme pour le résidu sec et la chaux, la série I se distingue de la série II par ses valeurs moins élevées. La première présente un maximum de 11,5 mgr., alors que la seconde atteint 196,2 mgr. Nous expliquons la relation intime qui existe, dans la plupart des cas, entre la chaux et la magnésie par la présence de la dolomie, qui est un mélange de $CaCO_3$ et $MgCO_3$, dont les proportions restent sensiblement constantes. Elle forme souvent une grande partie des bassins d'alimentation. C'est à elle aussi

qu'il faut attribuer les grandes quantités de magnésie que nous trouvons dans certains lacs silicatés.

6. *Le manganèse.* (MnO)

Il ne se trouve que rarement dans l'eau de nos lacs et presque toujours en très petites quantités. Nous pouvons attribuer ce fait soit à l'absence de ses composés, soit à leur solubilité minime. On en trouve cependant des proportions assez élevées dans les lacs Taney, Melch et Arnen.

7. *Les alcalis* (potasse et soude K_2O et Na_2O).

Malgré la grande solubilité de la plupart de leurs combinaisons, les alcalis n'existent jamais en fortes proportions dans nos lacs, bien qu'ils ne manquent dans aucun d'eux. Le minimum de Na_2O est de 0,4 mgr. et celui du K_2O de 0,8 mgr. Le maximum du premier atteint 4,8 mgr. et celui du second 4,2 mgr.

Pour expliquer cette anomalie apparente, il ne faut pas oublier que les alcalis ne sont qu'en petites quantités (dans les régions alpines) sous une forme facilement soluble telle que chlorures, carbonates ou sulfates. Ils proviennent généralement des silicates. Ceux-ci ne présentent qu'une très faible solubilité et ne peuvent abandonner les alcalis, qu'ils ne renferment souvent qu'en proportions très minimes, qu'après leur décomposition.

Dans certains lacs cependant, les alcalis et particulièrement le Na_2O, atteignent des valeurs assez élevées. Tel est le cas des lacs Champex, Noir, Amsoldingen, Lauenen, Arnen, Lungern, Klönthal, Davos et Ritom, qui, presque tous, reçoivent des eaux d'infiltrations riches en sels sodiques, venant, soit des habitations situées à proximité, soit des pâturages qui les environnent.

8. *Le chlore.*

Celui-ci se trouve plutôt accidentellement dans l'eau. Il ne semble que rarement provenir de la dissolution ou décomposition des roches. Etant souvent en rapport direct avec les proportions des sels sodiques, nous prévoyons que, dans la plupart des cas, sa présence est due aux eaux d'infiltration, riches en NaCl. Ceci se trouve vérifié pour les lacs Champex, Noir, Amsoldingen, Lungern et Davos.

9. *L'acide sulfurique.* (SO_3)

Voici les résultats obtenus pour celui-ci :

I.		II.		
a.	*b.*	*a.*	*b.*	*c.*
2,7	9,7	7,7	5,6	85,5
3,7	13,8	12,5	4,3	5,4
3,0	23,5	5,4	11,6	112,9
5,3	12,2	3,3	27,2	23,6
4,6	13,2	29,3	2,0	17,5
0,48	10,3		3,5	1376,7
traces	6,2		4,2	
4,5				

Nous remarquons que les lacs qui possèdent un terrain d'alimentation silicaté sont généralement moins riches que ceux dont les affluents viennent des roches calcaires et surtout triasiques. La différence n'est cependant pas aussi prononcée qu'on pourrait le prévoir. Ceci s'explique par la présence des gisements de trias qui se trouvent dans un certain nombre de terrains silicatés. Le SO_3 n'est en traces que dans des cas exceptionnels. C'est ce que nous observons dans le lac Lucendro. Dans celui de Ritom, il atteint au contraire une valeur extraordinairement élevée, qui est due au gypse.

Si nous comparons les résultats trouvés pour la magnésie avec ceux de l'acide sulfurique, nous remarquerons une corrélation singulière entre ces deux valeurs. Elle peut s'expliquer par l'abondance des sulfates et des sels magnésiens dans les formations triasiques.

10. *L'oxydabilité.*

I.		II.		
a.	*b.*	*a.*	*b.*	*c.*
7,50	2,76	3,02	5,10	7,20
4,49	2,87	2,38	5,07	13,20
4,19	4,67	2,07	1,77	4,88
3,01	2,34	4,34	4,10	1,85
3,01	2,63	4,02	11,97	3,84
2,58	2,34		8,38	5,36
3,44	3,73		2,60	
3,16				

Le présent tableau nous révèle que l'oxydabilité est une des propriétés de l'eau qui correspondent le moins avec les caractères du bassin d'alimentation. Nous avons déjà indiqué plus haut que c'étaient ceux du lac même et en particulier ceux des rivages qui pouvaient avoir ici une influence notable. Les valeurs obtenues varient entre 1,77 pour le lac de Klönthal et de 13,20 pour celui d'Amsoldingen. Ces bassins possédant tous deux des rives marécageuses capables de fournir de fortes proportions de matières organiques, nous sommes obligés d'attribuer la différence observée à l'oxydation très énergique de ces matières dans les grands lacs. Comme cette oxydation est due au contact intime et prolongé de l'eau avec l'air, il est compréhensible qu'elle ne puisse avoir une influence aussi marquée dans les bassins d'importance médiocre. L'action purifiante de la chaux, qui précipite les substances organiques, ne peut de même agir avec autant d'efficacité chez ces derniers, surtout s'ils sont peu profonds.

11. *L'hydrogène sulfuré.*

Il ne se trouve que dans un nombre de lacs très restreint, et généralement là où l'eau est excessivement riche en sulfates. Tel est le cas des lacs Ritom et Cadagno. Comme nous le savons, ceci s'explique facilement par la décomposition du gypse, sous l'influence de certains micro-organismes.

Voici à peu près tout ce que nous enseigne l'examen approfondi des résultats de nos recherches.

Nous en concluons que la plupart des qualités de l'eau des lacs alpins dépendent de la constitution, tant géologique que chimique, du bassin d'alimentation tout entier, tandis que d'autres sont plutôt en relation avec les caractères spécifiques du bassin lacustre.

Les lacs qui se trouvent dans des conditions semblables présentent des propriétés physiques et chimiques analogues.

TABLE DES MATIÈRES

	Pages.
Préface	9
I. But du travail	11
II. Les lacs alpins, leurs caractères généraux	11
III. Les recherches	12
1. Recherches sur le lac.	12
a) Choix des appareils	12
1. Le treuil	13
2. La corde	13
3. Tige avec boulets de sonde.	14
4. Cône pour prise de vase	14
5. Poudriers	14
6. Thermomètre	14
7. Bouteille de Mill.	14
8. Bonbonnes.	16
9. Disque blanc	16
10. Gamme de Forel.	16
b) Transport des appareils	17
c) Manière de procéder aux recherches sur les lacs.	17
d) Conservation des échantillons d'eau et de vase.	19
2. Recherches au laboratoire	21
a) Le résidu sec.	23
b) La silice	25
c) Le fer et l'alumine	25
d) L'acide sulfurique	27
e) Les alcalis K et Na	28
f) La chaux	28
g) La magnésie	29
h) Le chlore	29
i) Le manganèse	30
k) Matières organiques (oxydabilité)	30
l) Analyses des eaux fortement chargées de sulfates.	31
1. Résidu sec	32
2. Silice.	32
3. Fer et alumine	32
4. Alcalis	33
5. Chlore	33
6. Ca et Mg	33
7. Acide sulfurique	33
m) L'hydrogène sulfuré	33
n) L'acide carbonique.	34
o) Autres matières que l'on pourrait déterminer	35
IV. Interprétation des résultats obtenus par l'analyse	36
V. Les lacs, résumé des résultats obtenus pour chacun d'eux	39
1. Lac de Taney	39
2. » de Champex	41
3. » Noir	43
4. » d'Amsoldingen	44
5. » de Lauenen.	46
6. » d'Arnen	48
7. » d'Œschinen	51
8. » Bleu	53

Pages.

9. Lac Merjelen 55
10. » du Grimsel 57
11. » d'Engstlen 59
12. » de Melch 61
13. » de Lungern 62
14. » de Klönthal 64
15. » de Murg 65
16. » Greppelen 66
17. » Schönenboden . . . 68
18. » Seealp 69
19. » Fälen 70
20. » de Davos 71
21. » Schotten 72
22. » Bianco 74
23. » de Poschiavo 75
24. » de St-Moriz 76
25. » de Campfer 78
26. » de Silvaplana 79
27. » de Sils 81
28. » Ritom 82
29. » Tom 91
30. » Cadagno 92
31. » du St-Gothard . . . 93
32. » de Lucendro 95
33. » de l'Oberalp 96

Répartition des lacs examinés sur les différents cours d'eau et principaux bassins 99

Résultats exprimés en substances probables constituant le résidu sec. . 100-101

Tableau des Résultats. hors texte

VI. Discussion des résultats . . 103
1. Discussion « des données sur les lacs » 103
a) Altitude 103

Pages.

b) Dimensions 103
c) Profondeur 103
d) Variations de niveau . . 104
e) Affluents et émissaires . 105
f) Caractères du terrain sous-lacustre 105
g) Transparence de l'eau. . 106
h) Couleur de l'eau. . . . 107
i) Températures 111
k) Date, temps et lieu . . 113
2. Discussion des résultats des analyses 113
a) Action mécanique de l'eau 113
b) » chimique » 113
α. Action dissolvante de l'eau 114
β. Action décomposante de l'eau 115
γ. Réactions des substances en solution dans l'eau entre elles . . . 116
c) Classification rationnelle des lacs alpins. . . . 120
1. Le résidu sec 121
2. La silice. 122
3. Le fer et l'alumine . . 123
4. La chaux 123
5. La magnésie 124
6. Le manganèse. . . . 125
7. Les alcalis (potasse et soude) 125
8. Le chlore 125
9. L'acide sulfurique . . 126
10. L'oxydabilité 126
11. L'hydrogène sulfuré . 127